



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD**

**TEMA:**

**Diseño eléctrico de un sistema de respaldo para mantener la continuidad en el servicio de las garitas de acceso del campus de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil**

**AUTOR:**

**Vega Giron, Edwin David**

**Trabajo de titulación presentado como requisito para la obtención del título de**

**INGENIERO ELÉCTRICO**

**TUTOR:**

**Ing. Bohórquez Escobar Celso Bayardo, PH.D.**

**Guayaquil, Ecuador**

**02 de marzo del 2026**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **VEGA GIRON, EDWIN DAVID** como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Eléctrico**.

**TUTOR (A)**

f. 

**Ing. Bohórquez Escobar Celso Bayardo, Ph.D.**

**DIRECTOR DE LA CARRERA**

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Bohórquez Escobar Celso Bayardo, Ph.D.**

**Guayaquil, a los 02 del mes de marzo del año 2026**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACION TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERIA EN ELECTRICIDAD

## DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **VEGA GIRON EDWIN DAVID**

**DECLARO QUE:**

El Trabajo de Titulación, **DISEÑO ELÉCTRICO DE UN SISTEMA DE RESPALDO PARA MANTENER LA CONTINUIDAD EN EL SERVICIO DE LAS GARITAS DE ACCESO DEL CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTIAGO DE GUAYAQUIL** previo a la obtención del título de **INGENIERO ELÉCTRICO**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

**Guayaquil, a los 02 del mes de marzo del año 2026**

**EL AUTOR**

f. 

**VEGA GIRON EDWIN DAVID**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD

## AUTORIZACIÓN

Yo, **VEGA GIRON, EDWIN DAVID**

Autorizamos a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **DISEÑO ELÉCTRICO DE UN SISTEMA DE RESPALDO PARA MANTENER LA CONTINUIDAD EN EL SERVICIO DE LAS GARITAS DE ACCESO DEL CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTIAGO DE GUAYAQUIL**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

**Guayaquil, a los 02 del mes de marzo del año 2026**

f. 

**VEGA GIRON, EDWIN DAVID**

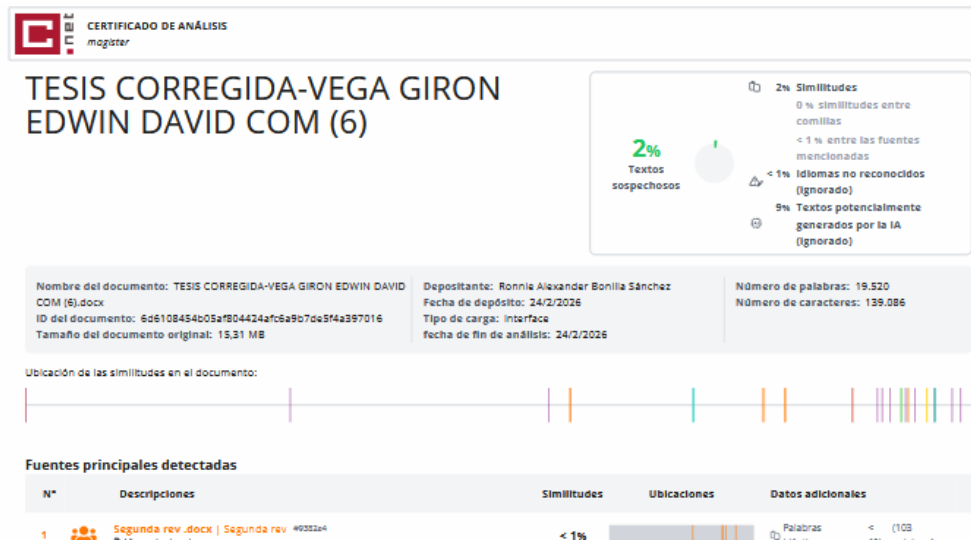


UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD

### CERTIFICADO COMPILATIO



Se revisó el Trabajo de Titulación, **DISEÑO ELÉCTRICO DE UN SISTEMA DE RESPALDO PARA MANTENER LA CONTINUIDAD EN EL SERVICIO DE LAS GARITAS DE ACCESO DEL CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTIAGO DE GUAYAQUIL** presentado por el estudiante VEGA GIRON, EDWIN DAVID de la carrera de Ingeniería en Electricidad, donde obtuvo del programa COMPILATIO, el valor de 2% de coincidencias, considerando ser aprobada por esta dirección.

Certifica,

f. \_\_\_\_\_

Ing. Bohórquez Escobar Celso Bayardo, Ph.D.

Revisor - COMPILATOR

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, agradezco profundamente a Dios, por darme la vida, la fortaleza, la sabiduría y la perseverancia necesaria para culminar esta importante etapa de mi formación profesional. Su guía y bendición han sido fundamentales a lo largo de este camino.

A mis padres, quienes han sido mi mayor inspiración y apoyo incondicional. Gracias por su amor, sacrificio, consejos y por creer en mí en todo momento. Este logro también les pertenece, pues sin su esfuerzo y respaldo constante no habría sido posible alcanzar esta meta.

A mi pareja, por su paciencia, comprensión y motivación permanente durante todo el proceso. Gracias por acompañarme en los momentos difíciles, por impulsarme a seguir adelante y por ser un pilar fundamental en esta etapa de mi vida.

A mi tutor de tesis, Ing. Bohórquez Escobar Celso Bayardo, Ph.D., por su valiosa orientación, dedicación y profesionalismo. Su conocimiento, experiencia y acompañamiento académico fueron esenciales para el desarrollo y culminación exitosa de este trabajo de investigación.

A todos quienes de una u otra forma contribuyeron a la realización de esta tesis, mi más sincero agradecimiento.

## **DEDICATORIA**

Llegar a la finalización de esta tesis significa para mí mucho más que cumplir con un requisito académico. Representa el resultado de todo el esfuerzo, las horas de trabajo, sacrificios y los aprendizajes que formaron parte de este largo proceso. Agradezco a Dios por acompañarme en cada etapa, por darme la fuerza necesaria y la claridad para seguir adelante incluso en los momentos más difíciles.

También quiero expresar mi agradecimiento a todas las personas que, de alguna manera, fueron parte de este largo camino. Sus consejos, conocimientos y apoyo contribuyeron significativamente al desarrollo de este trabajo y a mi formación durante la carrera. De igual manera, valoro profundamente el apoyo y la motivación recibida a lo largo de este tiempo, ya que fueron un gran impulso para no rendirme y continuar hasta alcanzar este objetivo.

Este logro no solo refleja la dedicación, la constancia y todo lo aprendido durante mi etapa universitaria, sino que me ha permitido vivir experiencias que me llevaron a crecer tanto en lo académico como en lo personal.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**  
FACULTAD DE EDUCACION TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERIA EN ELECTRICIDAD

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

f.

**Ing. Bohórquez Escobar Celso Bayardo, Ph.D.**

DIRECTOR DE CARRERA

f.

**Ing. Ubilla González Ricardo Xavier, MSC.**

COORDINADOR DEL ÁREA

f.

**Econ. Arzube Mendoza Erika Paola, Mgs.**

OPONENTE

# ÍNDICE GENERAL

CAPITULO I.....	2
DESCRIPCIÓN.....	2
1.1.    Introducción .....	2
1.2.    Definición del problema.....	3
1.3.    Justificación.....	4
1.4.    Objetivos .....	5
1.4.1.    Objetivo general.....	5
1.4.2.    Objetivos específicos .....	5
1.5.    Hipótesis.....	6
1.6.    Metodología .....	6
CAPITULO II .....	8
MARCO TEÓRICO.....	8
2.1. Panorama actual del sistema eléctrico ecuatoriano .....	8
2.2. Fuentes de energía renovable y su rol en el sistema eléctrico.....	9
2.3. Fundamentos físicos de las energías renovables .....	10
2.3.1. Caracterización de la radiación solar .....	11
2.3.2. Aprovechamiento de la energía cinética del viento.....	13
2.3.3. Transformación de la energía hidráulica .....	14
2.3.4. Aprovechamiento del calor interno terrestre .....	15
2.3.5. Conversión energética a partir de biomasa .....	17
2.4. Clasificación de las energías renovables y relevancia de su adopción .....	18
2.5. Bases teóricas de los sistemas solares fotovoltaicos .....	19
2.5.1. Principios de operación de los sistemas fotovoltaicos .....	20

2.5.2. Configuración y funcionamiento de las celdas fotovoltaicas.....	21
2.5.3. Desempeño energético y evolución tecnológica .....	22
2.6. Elementos esenciales en sistemas fotovoltaicos .....	23
2.7. Módulos fotovoltaicos.....	24
2.7.1. Tipos de materiales y avances tecnológicos en módulos fotovoltaicos.....	24
2.7.2. Conceptualización, planificación, diseño y desmontaje de sistemas fotovoltaicos.....	28
2.7.3. Infraestructura y durabilidad de los módulos fotovoltaicos .....	29
2.8. Controladores de carga.....	30
2.8.1. Tipos de controladores de carga .....	30
2.8.2. Características técnicas de los controladores de carga.....	33
2.9. Sistemas de conversión de potencia en instalaciones fotovoltaicas.....	34
2.10. Tecnologías de almacenamiento energético .....	36
2.11. Análisis de beneficios y restricciones de los sistemas fotovoltaicos.....	41
2.12. Tipología y esquemas de configuración de los sistemas fotovoltaicos .....	42
CAPITULO III.....	43
LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN.....	43
3.1. Generalidades.....	43
3.1.1. Antecedentes del proyecto.....	43
3.2. Ubicación geográfica .....	44
3.2.1. Descripción del área de estudio.....	44
3.3. Condiciones climáticas de FETD.....	45

3.3.1. Irradiación global promedio.....	45
3.3.2. Temperatura promedio .....	47
3.3.3. Velocidad del viento.....	47
3.3.4. Humedad relativa .....	48
3.3.5. Recorrido solar.....	48
3.4. Descripción del sistema de barrera vehicular.....	49
CAPITULO IV.....	50
4. Dimensionamiento de un sistema híbrido de energía solar con respaldo de baterías .....	50
4.1. Generalidades.....	50
4.2. Identificación de cargas del sistema.....	50
4.3. Consumo promedio diario del sistema.....	51
4.4. Dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico .....	52
4.5. Dimensionamiento del banco de baterías.....	54
4.6. Selección del inversor .....	56
4.7. Regulador de carga.....	57
4.8. Cálculo de caída de tensión.....	57
4.9. Corriente de cortocircuito y protecciones según IEC .....	59
4.10. Inclinación óptima y plano estructural.....	61
4.11. Dimensionamiento del sistema en el software PVSyst .....	62
4.12. Resultados de la simulación.....	69
4.13. Análisis de Pérdidas del Sistema.....	71
4.14. Diagrama unifilar .....	72

CAPITULO V .....	73
5. Estudio técnico económico .....	73
5.1. Generalidades.....	73
5.2. Beneficios del sistema.....	73
5.3. Presupuesto eléctrico referencial.....	73
5.4. Tiempo de Ejecución del Proyecto.....	76
5.5. Ventajas Técnicas del Sistema Propuesto.....	77
5.6. Beneficios Económicos.....	77
5.7. Beneficios Ambientales.....	78
CONCLUSIONES .....	79
RECOMENDACIONES .....	80
BIBLIOGRAFÍA.....	81
ANEXOS.....	89

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Características técnicas de controladores de carga.....	33
Tabla 2 Consumo energético diario de los componentes del sistema .....	51
Tabla 3 Presupuesto económico del sistema solar con respaldo de baterías para las garitas de control de acceso de la UCSG. ....	75

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Central Hidroeléctrica Manduriacu.....	8
Ilustración 2 Energías renovables presentes en Ecuador .....	10
Ilustración 3 Componentes de la radiación solar que influyen sobre un modulo fotovoltaico.....	12
Ilustración 4 Aprovechamiento de la energía solar mediante sistemas fotovoltaicos a gran escala .....	12
Ilustración 5 Aprovechamiento de la energía eólica mediante aerogeneradores .....	14
Ilustración 6 Aprovechamiento de la energía hidráulica mediante centrales hidroeléctricas.....	15
Ilustración 7 Aprovechamiento del calor interno terrestre mediante manifestaciones geotérmicas superficiales.....	16
Ilustración 8 Proceso de generación de energía eléctrica a partir de biomasa .....	18
Ilustración 9 Principales energías renovables .....	19
Ilustración 10 Puesta en marcha de una celda solar.....	20
Ilustración 11 Esquema básico de un sistema solar fotovoltaico aislado.....	21
Ilustración 12 Celdas fotovoltaicas .....	22
Ilustración 13 Celdas solares de alta eficiencia energetica .....	23
Ilustración 14 Componentes de un sistema solar fotovoltaico.....	24
Ilustración 15 Componentes de un panel solar mono cristalino .....	25
Ilustración 16 Módulo fotovoltaico policristalino y estructura cristalina heterogénea...	26
Ilustración 17 Módulos fotovoltaicos de capa fina y flexible .....	27
Ilustración 18 Ubicación y ángulo de módulos fotovoltaicos según la trayectoria solar estacional .....	28
Ilustración 19 Accesorios para estructuras solares fotovoltaicas .....	30
Ilustración 20 Controlador de carga solar tipo PWM .....	32
Ilustración 21 Controlador de carga solar MPPT EPEVER.....	33
Ilustración 22 Inversores híbridos.....	34
Ilustración 23 Inversor onda senoidal pura para sistemas fotovoltaicos.....	36
Ilustración 24 Composición de una batería sellada de ácido-plomo.....	37

Ilustración 25 Esquema batería plomo-acido abierta.....	38
Ilustración 26 Batería de plomo-ácido sellada con tecnología AGM (Absorbent Glass Mat).....	39
Ilustración 27 Batería de plomo-ácido sellada con tecnología de gel para sistemas fotovoltaicos .....	40
Ilustración 28 Baterías de fosfato de hierro y litio (LiFePO4).....	41
Ilustración 29 Principales ventajas del uso de la energía solar .....	41
Ilustración 30 Sistemas fotovoltaicos según su conexión.....	42
Ilustración 31 Ubicación FETD .....	44
Ilustración 32 Irradiación Global Promedio.....	45
Ilustración 33 Irradiación solar mensual y variables meteorológicas del sitio Cooperativa San Pedro FETD (Ecuador). .....	47
Ilustración 34 Recorrido Solar .....	48
Ilustración 35 Cálculo de la inclinación y altura estructural del sistema.....	61
Ilustración 36 Ubicación del proyecto .....	63
Ilustración 37 Irradiación anual promedio de la UCSG.....	64
Ilustración 38 Azimuth.....	65
Ilustración 39 Características del conjunto Fotovoltaico .....	65
Ilustración 40 Ficha tecnica LR5-72HPH-550M G2 .....	67
Ilustración 41 Inversor Huawei SUN2000-2KTL-L1 .....	68
Ilustración 42 Simulación PVSyst .....	69
Ilustración 43 Balances y resultados principales .....	70
Ilustración 44 Diagrama de perdida .....	71
Ilustración 45 Diagrama unifilar propuesto .....	72

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Garita de entrada al campus de la UCSG .....	89
Anexo 2. Barreras vehiculares de ingreso por la av Carlos Julio Arosemena.....	89
Anexo 3. Teletag garita de salida del campus hacia av Carlos Julio Arosemena.....	90
Anexo 4. Barreras vehiculares ingreso y teletag.....	91
Anexo 5. Sistema electrónico de control de acceso con lector QR.....	92
Anexo 6. Detalle frontal del módulo lector de código QR del sistema de control de acceso.....	93
Anexo 7. Vista interna del gabinete del módulo de control con cableado y componentes eléctricos.....	94
Anexo 8. Panel frontal del equipo dispensador y lector QR en operación. ....	95
Anexo 9. Barrera vehicular marca Ditec.....	96
Anexo 10. Diseño de proyecto solar de respaldo energético diseñado con sketchUP .....	97

## RESUMEN

El diseño y dimensionamiento del sistema fotovoltaico híbrido propuesto para las garitas de control vehicular de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil constituye una alternativa técnica viable para garantizar la continuidad del servicio eléctrico ante interrupciones de la red pública. El sistema propuesto está compuesto por módulos fotovoltaicos monocristalinos de 550 W, un inversor híbrido de 2.5 kW, un controlador de carga MPPT y un banco de baterías de 24 V. Estos elementos trabajan en conjunto para permitir que el sistema pueda mantener una autonomía energética aproximada de 24 horas.

Para el dimensionamiento del sistema, se realizó un análisis del consumo eléctrico de la barrera vehicular y de los equipos complementarios que forman parte del sistema de acceso. A partir de este estudio fue posible estimar la capacidad adecuada tanto de generación como de almacenamiento de energía. De esta manera se busca asegurar un funcionamiento continuo que permita cubrir alrededor de 800 ciclos de operación diarios, además del consumo de los sistemas de control y comunicación asociados al sistema. También se tomaron en cuenta aspectos técnicos importantes, como la estabilidad del suministro eléctrico, el manejo de los picos de arranque de los equipos y el cumplimiento de parámetros relacionados con la protección del sistema y la caída de tensión.

El análisis técnico-económico del proyecto estima una inversión aproximada de \$5.106,00 dólares por cada garita de control de acceso, su implementación ofrece diversas ventajas entre ellas la disminución de riesgos durante la operación, mayor confiabilidad en el suministro energético y menor dependencia a la red pública eléctrica. Además, el uso de energía solar favorece la sostenibilidad ambiental ya que reduce el consumo de combustibles fósiles y, en consecuencia, las emisiones de efecto invernadero.

## ABSTRACT

The design and sizing of the proposed hybrid photovoltaic system for the vehicle control booths at the Catholic University of Santiago de Guayaquil constitutes a viable technical alternative to guarantee the continuity of electrical service in the event of public grid interruptions. The proposed system consists of 550 W monocrystalline photovoltaic modules, a 2.5 kW hybrid inverter, an MPPT charge controller, and a 24 V battery bank. These components work together to allow the system to maintain an approximate energy autonomy of 24 hours.

For system sizing, an analysis of the electrical consumption of the vehicle barrier and the complementary equipment that comprise the access system was conducted. This study allowed for the estimation of the appropriate energy generation and storage capacity. This aims to ensure continuous operation, covering approximately 800 daily operating cycles, in addition to the consumption of the associated control and communication systems. Important technical aspects were also considered, such as the stability of the electrical supply, the handling of equipment startup peaks, and compliance with parameters related to system protection and voltage drop.

The technical and economic analysis of the project estimates an approximate investment of \$5,106.00 per access control booth. Its implementation offers several advantages, including reduced operational risks, greater reliability of energy supply, and less dependence on the public electrical grid. Furthermore, the use of solar energy promotes environmental sustainability by reducing the consumption of fossil fuels and, consequently, greenhouse gas emissions.

# CAPITULO I

## DESCRIPCIÓN

### 1.1. Introducción

La energía eléctrica constituye uno de los pilares fundamentales en el desarrollo de las sociedades modernas, al permitir la operación continua de actividades productivas, institucionales y de servicios esenciales. Históricamente, la generación de energía eléctrica a nivel mundial ha estado sustentada principalmente en el uso de fuentes primarias no renovables, tales como el petróleo, gas natural y carbón. Si bien estas fuentes permitieron satisfacer la creciente demanda energética durante décadas, su explotación intensiva ha generado problemáticas asociadas a la disponibilidad limitada de los recursos, el incremento sostenido de los costos de producción y los impactos ambientales derivados de los procesos de conversión energética. A nivel mundial las limitaciones de los sistemas energéticos convencionales usados desde hace mucho tiempo han impulsado la transición hacia fuentes de energía más sostenibles y resilientes (International Energy Agency, 2022).

En este contexto, las fuentes de energía renovable han adquirido un rol protagónico dentro de las estrategias de diversificación energética, destacándose la energía solar por su abundancia, bajo impacto ambiental y potencial de aplicación en entornos urbanos e institucionales. El aprovechamiento de la radiación solar mediante sistemas fotovoltaicos ha experimentado avances significativos en los últimos años, reflejados en el aumento progresivo de la eficiencia de conversión de los módulos solares, como resultado del desarrollo de nuevas tecnologías y materiales semiconductores (National Renewable Energy Laboratory, 2025).

No obstante, la dependencia a la radiación solar diaria y condiciones climáticas limita la capacidad del sistema para garantizar un suministro eléctrico continuo. Frente a esta limitación, los sistemas fotovoltaicos híbridos con respaldo de baterías surgen como una solución técnica eficiente ya que integran la generación renovable con sistemas de almacenamiento energético (Rana et al., 2022)

En el contexto ecuatoriano, el sistema eléctrico nacional ha presentado, durante los últimos años episodios recurrentes de interrupciones del suministro energético,

situación que se intensificó durante la crisis eléctrica registrada en el periodo 2023-2024. Estos acontecimientos evidenciaron la vulnerabilidad de las infraestructuras que dependen únicamente de energía proveniente de la red pública. Por ello, se vuelve indispensable implementar soluciones de respaldo energético que permitan mantener la continuidad del suministro eléctrico en particular infraestructuras relacionadas con la seguridad institucional (Ministerio de Energía y Minas, 2024).

En el caso de las instituciones de educación superior, garantizar la disponibilidad permanente de energía eléctrica se vuelve un aspecto fundamental para el adecuado funcionamiento de los sistemas de control, monitoreo y vigilancia. Las garitas de acceso constituyen puntos estratégicos dentro del campus universitario, la interrupción del suministro eléctrico genera congestión vehicular y aumenta riesgos a la seguridad de la comunidad universitaria, además genera costos operativos asociados al personal de seguridad, obligando a implementar un control de acceso manual mediante la verificación individual de cada vehículo que ingresa o egresa del campus (Harker Steele et al., 2021).

A partir de esta problemática, el presente trabajo tiene como propósito desarrollar el diseño eléctrico de un sistema híbrido basado en generación solar fotovoltaica con almacenamiento en baterías, que busca mantener el suministro de energía en las garitas de control vehicular de la UCSG. La implementación de este sistema permitirá disponer de una fuente de energía confiable ante eventuales interrupciones de la red pública, además de fortalecer las condiciones de seguridad, garantizar la operatividad de los servicios y fomentar la sostenibilidad en la gestión energética de la institución.

## **1.2. Definición del problema**

Durante los periodos de interrupción del suministro eléctrico registrados en el sistema nacional, las garitas de control vehicular de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil han experimentado limitaciones operativas significativas. La ausencia de energía eléctrica impide el correcto funcionamiento de equipos esenciales como sistemas de control de accesos, dispositivos de comunicación, iluminación y sistemas de video vigilancia, generando vulnerabilidades en el control y resguardo del campus.

Cuando se presentan interrupciones en el suministro eléctrico, los sistemas que controlan las garitas de acceso dejan de operar con normalidad, esto genera dificultades

en el ingreso y salida de vehículos. Esto provoca, entre otras consecuencias, tráfico, pérdida de control y mayores tiempos de espera para los usuarios.

Ante la falta de energía, el personal de seguridad se ve obligado a realizar registros manuales lo que incrementa la carga laboral y vuelve más lento el proceso de control. Asimismo, disminuye la eficiencia en la supervisión, aumenta la probabilidad de errores y complica la capacidad de reacción frente a posibles incidentes, debilitando los mecanismos de seguridad establecidos.

Debido a esto resulta fundamental disponer de una fuente de respaldo energético que permita mantener operativos los sistemas de control de acceso. En este contexto, el problema central de la presente investigación se plantea a partir de la interrogante:

¿Como diseñar un sistema fotovoltaico con respaldo de baterías que permita garantizar la continuidad del servicio eléctrico en las garitas de control vehicular de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil ante interrupciones del suministro eléctrico de la red pública?

### **1.3. Justificación**

La presente investigación se justifica desde los ámbitos técnico, institucional y social, debido a la necesidad de garantizar la continuidad del servicio eléctrico en infraestructuras críticas relacionadas con la seguridad y el control de acceso. Las garitas de control de acceso vehicular de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil desempeñan una función clave en la regulación del ingreso y salida de automóviles siendo fundamental en la vigilancia del campus universitario. Estos puntos de control se ven afectados cuando se presentan interrupciones en el suministro de energía eléctrica lo que dificulta la gestión del acceso vehicular, provoca acumulación de vehículos y aumenta la carga operativa del personal de seguridad, elevando así los riesgos para la comunidad universitaria.

Desde un punto de vista técnico, este trabajo toma alta relevancia al plantear el diseño de un sistema de generación eléctrica a base de energía fotovoltaica con almacenamiento en baterías como una solución confiable y sostenible. El objetivo es mantener operativas las cargas consideradas críticas aun cuando existan falencias en la red eléctrica pública, asimismo el desarrollo del sistema permite estudiar aspectos importantes como el dimensionamiento de los componentes eléctricos, la confiabilidad

del sistema, el nivel de autonomía que este proporcionara ya la calidad de energía suministrada por el mismo. Con esto se busca proponer una alternativa técnicamente viable para alimentar sistemas vinculados con la seguridad institucional. De igual manera la investigación facilita la aplicación práctica de diversos conceptos de ingeniería eléctrica relacionados con energías renovables y sistemas de respaldo energético.

En el plano institucional, la implementación de un sistema de respaldo contribuiría a fortalecer los mecanismos de control y vigilancia dentro del campus universitario, lo que permitirá mejorar la capacidad de respuesta ante posibles incidentes y optimizar el funcionamiento de los accesos vehiculares. Como consecuencia, se generarían condiciones más seguras para estudiantes, docentes, personal administrativo, y visitantes, en concordancia con las políticas de prevención y protección establecidas por la institución.

Finalmente, desde una visión social y ambiental el estudio tiene alta relevancia al incentivar el aprovechamiento de fuentes de energía renovable, especialmente la energía solar lo que ayuda a reducir la dependencia a fuentes convencionales y promueve un uso más responsable y eficiente de los recursos energéticos. En este contexto, el diseño planteado no solo pretende dar respuesta a una necesidad específica sino también promover criterios de sostenibilidad y eficiencia en el uso de la energía. Asimismo, puede constituirse como un referente para la aplicación de soluciones similares en otras infraestructuras pertenecientes a la institución.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo general**

Diseñar un sistema fotovoltaico con respaldo de baterías que permita mantener la continuidad del servicio eléctrico en las garitas de control vehicular de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Analizar las condiciones actuales del suministro eléctrico y el consumo energético de las garitas de control vehicular de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, identificando las limitaciones existentes frente a interrupciones del servicio eléctrico.

- Dimensionar un sistema fotovoltaico con respaldo de baterías que permita garantizar la continuidad del servicio eléctrico en las garitas de acceso ante interrupciones del suministro proveniente de la red pública.
- Evaluar desde un enfoque técnico y energético, la viabilidad del sistema fotovoltaico con respaldo de baterías propuesto, en función de su desempeño ante interrupciones del suministro eléctrico de la red pública.

### **1.5. Hipótesis**

La implementación de un sistema fotovoltaico con respaldo de baterías permitirá mantener la continuidad del servicio eléctrico en las garitas de acceso del campus de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil durante interrupciones del suministro eléctrico de la red pública, sin afectar la calidad del suministro energético.

### **1.6. Metodología**

La presente investigación se realizó a partir de un enfoque metodológico mixto, combinando métodos cualitativos y cuantitativos. El enfoque cuantitativo se usa para analizar el consumo de energía, calcular la demanda eléctrica y realizar el dimensionamiento teórico tanto del sistema fotovoltaico como del banco de baterías. Estos cálculos permiten tener una idea más clara de la capacidad que se necesita para cubrir los requerimientos energéticos del sistema.

Por otro lado, el enfoque cualitativo se aplica para analizar el contexto en el que operan las garitas de control de acceso, identificar cuáles son las cargas más importantes para su funcionamiento y evaluar aspectos relacionados con la continuidad del servicio eléctrico.

El método utilizado en esta investigación se centra en un enfoque descriptivo y propositivo. Por un lado, se analiza una situación real relacionada con las interrupciones del suministro eléctrico y consecuencias en el funcionamiento de las garitas de control de acceso. Por otra parte, se propone como alternativa técnica el diseño de un sistema de generación fotovoltaica complementado con almacenamiento en baterías, sin embargo, dentro del alcance de esta investigación no se contempla su implementación física.

La obtención de la información se lleva a cabo mediante el levantamiento de datos referenciales, la revisión de documentos técnicos, el análisis de la normativa aplicable y

la consulta de bibliografía académica relacionada con el tema. Con base en estos insumos, el diseño del sistema se desarrolla considerando criterios técnicos y regulaciones vigentes, lo que permite analizar de manera teórica la factibilidad de la solución planteada.

## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Panorama actual del sistema eléctrico ecuatoriano

El sistema eléctrico ecuatoriano está caracterizado por una fuerte dependencia de la generación hidroeléctrica, que constituye la mayor parte de la capacidad instalada para cubrir la demanda nacional. Estudios recientes señalan que una gran proporción de la generación eléctrica proviene de fuentes renovables, principalmente de hidroeléctricas, lo cual ha permitido una reducción en el uso de combustibles fósiles en comparación con otros países de la región. Sin embargo, la dependencia en la generación eléctrica a base de energía hidráulica también incrementa la vulnerabilidad del sistema ante condiciones hidrológicas y climáticas desfavorables, ya que la disponibilidad de agua en los embalses es un factor que limita la continuidad del suministro eléctrico (Icaza Alvarez et al., 2023).

#### Ilustración 1

##### *Central Hidroeléctrica Manduriacu*



*Nota: Central hidroeléctrica Manduriacu ubicada en las provincias de Pichincha e Imbabura, cantones Quito y Cotacachi Fuente: CELEC EP, 2025.*

Durante los años 2023 y 2024, Ecuador enfrentó una grave crisis energética marcada debido a una sequía prolongada que redujo en gran cantidad la producción hidroeléctrica, que conllevó a racionamientos y cortes de energía programados en varias partes del país. Esta situación mostró las limitaciones operativas de un sistema con alta

dependencia de la energía hidroeléctrica y la necesidad de contar con fuentes de respaldo y estrategias de diversificación. La sequía afectó la generación en las principales centrales hidráulicas, lo que llevó al país a buscar alternativas utilizar de generación en centrales térmicas para compensar la falta de energía, situación que mostro la fragilidad del sistema ante eventos climáticos extremos (CENACE, 2024).

Frente a estos retos, los análisis técnicos y propuestas energéticas han enfatizado la importancia de diversificar la energía eléctrica nacional mediante la incorporación de fuentes de energía renovables no convencionales en el país, como la energía solar y eólica fortaleciendo el uso de generación distribuida. La diversificación permite disminuir la dependencia a un solo tipo de generación en particular y contribuye a un sistema eléctrico más resiliente y menos susceptible a interrupciones por factores climáticos, además de aprovechar el potencial de recursos naturales distintos al agua (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2022).

## **2.2. Fuentes de energía renovable y su rol en el sistema eléctrico**

Las fuentes de energía renovable se definen como aquellas que se generan a partir de recursos naturales que se renuevan de manera natural y pueden utilizarse constantemente sin agotarse, entre las que destacan la energía solar, eólica e hidráulica. Estas fuentes han obtenido una importancia creciente en los sistemas eléctricos modernos debido a su menor impacto ambiental durante la etapa de operación y su contribución en la reducción de emisiones de gases que contribuyen al cambio climático. A diferencia de los combustibles fósiles, las energías renovables permiten generar electricidad sin procesos de combustión, esto favorece la mitigación del cambio climático y el cumplimiento de compromisos ambientales a nivel mundial (IRENA, 2022).

Desde el punto de vista técnico y económico, integrar energías renovables dentro del sistema eléctrico ayuda a diversificar las fuentes de energía y a mejorar la seguridad en el suministro. La presencia de múltiples fuentes de generación reduce la dependencia de un solo recurso primario y disminuye la exposición del sistema a variaciones de precios o restricciones de abastecimiento. Asimismo, diversos estudios señalan que el incremento progresivo de la participación de energías renovables permite reducir costos operativos a largo plazo y mejorar la estabilidad del sistema eléctrico, especialmente cuando se combinan con estrategias adecuadas de planificación y gestión de la red (IEA, 2022).

## Ilustración 2

### *Energías renovables presentes en Ecuador*



*Nota: Energías renovables presentes en el Ecuador. Fuente: Energía Estratégica, 2024.*

Durante los últimos años, la generación de electricidad a partir de fuentes renovables ha adquirido una relevancia creciente como complemento a fuentes convencionales de producción energética. Esas alternativas permiten generar energía en puntos cercanos a los lugares de consumo, lo cual contribuye a reducir las pérdidas asociadas a los procesos de transmisión y distribución dentro del sistema eléctrico. En este contexto, la integración de tecnologías renovables a pequeña y mediana escala se presenta como un componente clave para modernizar los sistemas eléctricos y adaptarlos a los nuevos desafíos energéticos, particularmente en infraestructuras críticas que requieren continuidad del servicio (IRENA, 2023).

### **2.3. Fundamentos físicos de las energías renovables**

Las energías renovables se basan en principios físicos que permiten aprovechar fenómenos naturales para la generación de energía eléctrica. En el caso de la energía solar su aprovechamiento se fundamenta en la radiación emitida por el sol, lo cual llega de manera continua a la superficie terrestre en forma de energía electromagnética. Este recurso puede ser utilizado para producir electricidad mediante sistemas fotovoltaicos. La conversión de la energía solar en energía eléctrica se logra gracias al denominado efecto

fotovoltaico. Dicho proceso ocurre cuando determinados materiales semiconductores son expuestos a la luz solar, generando así una corriente eléctrica a partir de la interacción entre la radiación y el material. Cuando la radiación incide sobre estos materiales, los electrones se activan y comienzan a desplazarse, lo que genera una diferencia de potencial eléctrico. Como resultado de este proceso se produce corriente eléctrica en forma de corriente continua (IEA, 2023).

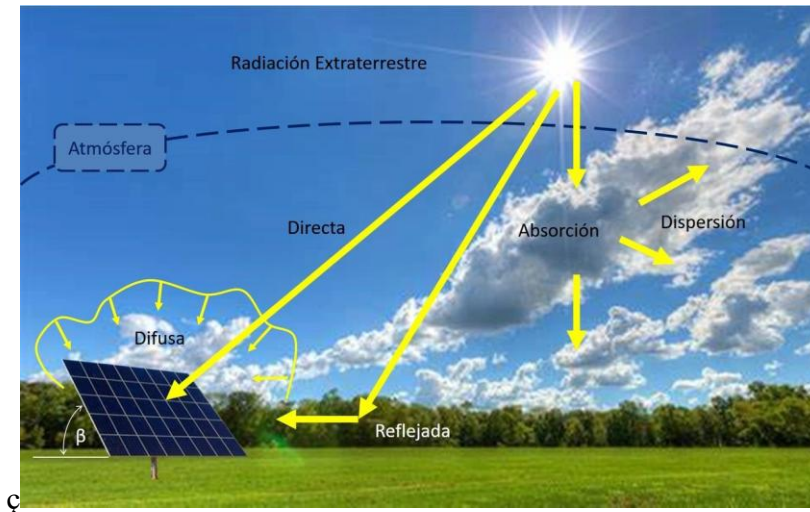
Desde el punto de vista físico, el aprovechamiento de la energía solar se fundamenta en la interacción entre la radiación solar y los materiales semiconductores utilizados en los sistemas fotovoltaicos. La cantidad de energía eléctrica que puede generarse depende directamente de la radiación incidente y de las propiedades físicas de los materiales utilizados, como la capacidad de absorción de fotones y la eficiencia en la conversión de energía. Estudios recientes destacan que el comportamiento eléctrico de los módulos fotovoltaicos está influenciado por variables ambientales como la irradiancia y la temperatura, las cuales afectan los niveles de tensión, corriente y potencia entregados por el sistema (Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, 2025).

### **2.3.1. Caracterización de la radiación solar**

La radiación solar que incide sobre la superficie terrestre está compuesta por radiación directa, difusa y reflejada. La suma de estas componentes se denomina radiación solar global y constituye el parámetro fundamental para el diseño y dimensionamiento de sistemas fotovoltaico (IRENA, 2022).

### Ilustración 3

*Componentes de la radiación solar que influyen sobre un módulo fotovoltaico.*



*Nota: Componentes de radiación solar en procesos de absorción y dispersión atmosférica que influyen sobre un módulo fotovoltaico. Fuente: E3C, 2022.*

La disponibilidad de radiación solar varía en función de factores geográficos, climáticos y estacionales. Por esta razón, la caracterización adecuada del recurso solar es indispensable para estimar la producción energética anual y garantizar la viabilidad técnica y económica de los sistemas fotovoltaicos (IEA, 2023).

### Ilustración 4

*Aprovechamiento de la energía solar mediante sistemas fotovoltaicos a gran escala*



*Nota: Captación de radiación solar mediante módulos fotovoltaicos dispuestos en arreglos de gran escala, utilizados para la generación de energía eléctrica a partir de una fuente renovable y sostenible. Fuente: BBVA, 2023.*

### **2.3.2. Aprovechamiento de la energía cinética del viento**

La energía eólica se fundamenta en el aprovechamiento de la energía cinética del aire en movimiento para la generación de electricidad mediante aerogeneradores. Estos sistemas convierten la fuerza del viento en energía mecánica a través del giro de pala aerodinámicas, las cuales transmiten el movimiento rotacional a un generador eléctrico, permitiendo la producción de energía eléctrica sin procesos de combustión ni emisiones directas de contaminantes (IRENA, 2023).

La utilización del viento para la producción de electricidad está condicionada por diversos factores, entre los que destacan la velocidad del aire, su densidad y las características de diseño de la turbina empleada. A medida que la velocidad del viento aumenta, también lo hace el potencial de generación energética, debido a que la energía disponible en el flujo de aire depende directamente de este parámetro. Por esta razón, el análisis adecuado del recurso eólico en una determinada zona es un aspecto fundamental al momento de planificar la instalación y el diseño de parques eólicos. Estudios recientes indican que las turbinas modernas han alcanzado mejoras significativas en su desempeño aerodinámico, lo que les permite operar de manera eficiente en un rango más amplio de velocidades del viento. Gracias a estos avances tecnológicos, la energía eólica se ha convertido en una alternativa viable para la generación eléctrica en distintas regiones del mundo (Global Wind Energy Council, 2024).

Desde la perspectiva ambiental, esta fuente energética es considerada una opción con bajo impacto en comparación con otras tecnologías convencionales, ya que durante su ciclo de vida presenta niveles reducidos de emisiones de carbono. Si bien la instalación de aerogeneradores puede generar ciertos efectos visuales o ruido en el entorno, estos impactos suelen ser menores y pueden controlarse si se comparan con los beneficios que ofrece esta tecnología, especialmente en la reducción de gases de efecto invernadero y en la disminución del uso de combustibles (IEA, 2023).

## *Ilustración 5*

### *Aprovechamiento de la energía eólica mediante aerogeneradores*



*Nota: Aerogeneradores utilizados para la conversión de la energía cinética del viento en energía eléctrica, mediante el giro de palas aerodinámicas acopladas a un generador eléctrico. Fuente: Repsol 2023.*

### **2.3.3. Transformación de la energía hidráulica**

La energía hidráulica aprovecha la fuerza del agua para producir electricidad. Para ello, se utiliza la energía asociada al movimiento y a la altura del agua, la cual hace girar turbinas conectadas a generadores eléctricos. Este proceso se sustenta en principios de la mecánica de fluidos y de la conservación de la energía, permitiendo un aprovechamiento eficiente del recurso hídrico disponible (IEA, 2022).

El desempeño de una central hidroeléctrica depende principalmente del caudal del río y de la altura efectiva de caída del agua, conocida como salto hidráulico. Estos parámetros determinan la potencia instalada y la capacidad de generación del sistema. La energía hidráulica presenta una elevada eficiencia de conversión, que puede superar el 90 %, en comparación con otras fuentes de energía renovables lo que la convierte en una de las tecnologías más eficientes dentro del sector eléctrico (IEA, 2022).

No obstante, la expansión de proyectos hidroeléctricos requiere una evaluación ambiental rigurosa, debido a los posibles impactos sobre ecosistemas acuáticos y comunidades locales. Por esta razón, las tendencias actuales se orientan hacia centrales de pequeña y mediana escala, así como a sistemas de pasada, los cuales minimizan los efectos ambientales y favorecen un desarrollo energético más sostenible (World Bank, 2023).

### *Ilustración 6*

#### *Aprovechamiento de la energía hidráulica mediante centrales hidroeléctricas*



*Nota: Funcionamiento de una central hidroeléctrica, donde la energía potencial y cinética del agua almacenada es transformada en energía mecánica y posteriormente en energía eléctrica mediante turbinas y generadores. Fuente: Clarín 2022.*

#### **2.3.4. Aprovechamiento del calor interno terrestre**

El aprovechamiento del calor interno terrestre, comúnmente conocido como energía geotérmica, se fundamenta en la extracción del calor almacenado dentro del planeta Tierra, el cual se origina principalmente por el calor residual de su formación y por los procesos de desintegración radiactiva de elementos presentes en la corteza y el manto. Este calor se manifiesta a través del llamado gradiente geotérmico y puede aprovecharse tanto para la producción de energía eléctrica como para usos térmicos directos. La utilización de este recurso está determinada principalmente por la temperatura disponible y por la profundidad a la que se encuentra en el subsuelo (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2022).

Desde el enfoque tecnológico, el calor proveniente del interior de la Tierra puede aprovecharse mediante sistemas hidrotermales tradicionales y también a través de sistemas geotérmicos mejorados, conocidos como Enhanced Geothermal Systems (EGS). En los sistemas hidrotermales, el vapor o los fluidos calientes extraídos del subsuelo

accionan turbinas acopladas a generadores eléctricos, mientras que en los sistemas EGS se estimula artificialmente la permeabilidad del reservorio para permitir la circulación del fluido térmico. Estas tecnologías han permitido el uso de la energía geotérmica más allá de zonas volcánicas, incrementando a nivel mundial su potencial de aplicación (IEA, 2024).

Dentro de los sistemas eléctricos actuales, se considera la energía geotérmica como una fuente renovable capaz de generar electricidad de manera constante. A diferencia de otras energías renovables, como la solar o la eólica, que dependen de condiciones climáticas específicas, la geotermia produce energía de forma continua. Debido a su estabilidad esta fuente de energía permite reducir la dependencia de combustibles fósiles y aporta mayor confiabilidad al sistema de suministro eléctrico. No obstante, el desarrollo de proyectos geotérmicos exige una gestión ambiental adecuada. Durante las etapas de planificación y diseño es necesario evaluar con detalle aspectos como la posible sismicidad inducida y el manejo responsable de los fluidos provenientes del subsuelo, con el fin de garantizar que su aprovechamiento se realice de manera sostenible (IRENA, 2023).

#### **Ilustración 7**

##### *Aprovechamiento del calor interno terrestre mediante manifestaciones geotérmicas superficiales*



*Nota: Manifestación natural de la energía geotérmica, donde el calor proveniente del interior de la Tierra emerge a la superficie en forma de aguas termales y emisiones de vapor, evidenciando el potencial del recurso geotérmico para aplicaciones energéticas sostenibles. Fuente: Repsol, 2024.*

### **2.3.5. Conversión energética a partir de biomasa**

Fuente de energía renovable que se produce a partir de material orgánico proveniente de plantas, cuya energía química fue almacenada gracias a la fotosíntesis, y que puede convertirse en calor o electricidad. Este recurso energético juega un papel significativo en la matriz energética global porque puede reemplazar parcial o totalmente a los combustibles fósiles y aprovechar residuos que de otro modo representarían un problema ambiental. Además, la biomasa se considera una fuente de energía que puede gestionarse con mayor estabilidad en comparación con otras energías renovables que dependen de condiciones variables, como la solar o la eólica. Por esta razón, suele verse como una alternativa importante dentro de los sistemas energéticos que buscan ser más sostenibles (IEA, 2025).

La biomasa puede obtenerse de diferentes tipos de residuos orgánicos, como restos de actividades agrícolas, materiales provenientes del sector forestal o desechos de origen animal. Aprovechar estos recursos para producir energía contribuye a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero reduciendo la acumulación de residuos si se gestiona de manera adecuada. Además, en zonas rurales impulsa el desarrollo local, generando empleo y apoyando la economía de la región (Mignogna et al., 2024).

Sin embargo, el uso de la biomasa presenta algunos retos, entre ellos se encuentran la disponibilidad constante de materia prima, los costos asociados a su transporte y la necesidad de realizar evaluaciones completas de su ciclo de vida para comprobar que sus beneficios realmente superen los posibles impactos. Por esta razón, es importante contar con una planificación adecuada y utilizar tecnologías apropiadas que permitan aprovechar mejor este recurso y reducir sus efectos negativos (Dadi et al., 2025).

## Ilustración 8

### Proceso de generación de energía eléctrica a partir de biomasa



*Nota: Generación de energía mediante biomasa sólida, así como la recuperación de calor y el tratamiento de gases de combustión. Fuente: MICROM INC, 2024.*

## 2.4. Clasificación de las energías renovables y relevancia de su adopción

Entre las principales fuentes de energía renovable se encuentran la energía solar, eólica, hidráulica, geotérmica y biomasa. Cada una de estas tecnologías presenta características particulares que determinan su aplicabilidad según el contexto geográfico, ambiental y económico (REN21, 2023).

La adopción de energías renovables es fundamental para reducir el impacto ambiental del sector eléctrico, promover la descentralización de la generación y fortalecer la resiliencia de los sistemas energéticos. Estudios recientes señalan que combinar estas fuentes de energía con sistemas de almacenamiento resulta fundamental para asegurar la continuidad del suministro eléctrico (Luo et al., 2025).

## Ilustración 9

### *Principales energías renovables*



*Nota: Fuentes de energía renovable. Fuente: Mesunos, 2023.*

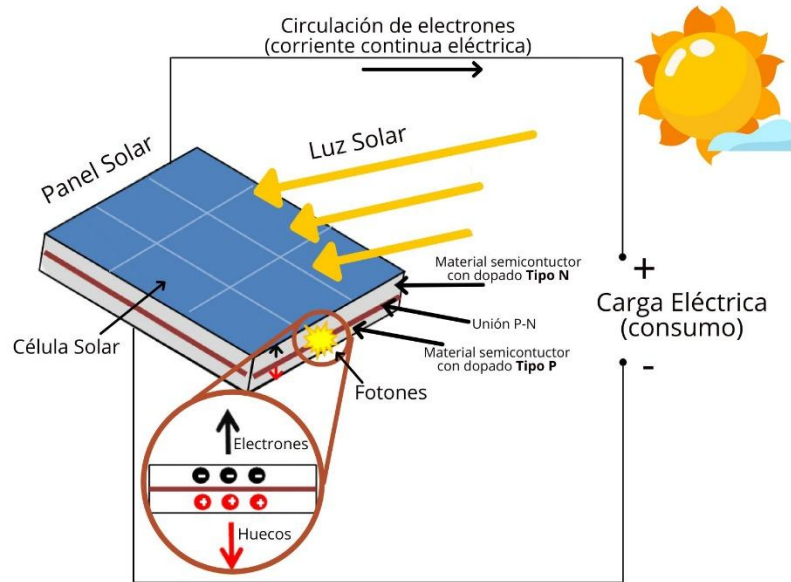
### **2.5. Bases teóricas de los sistemas solares fotovoltaicos**

Los sistemas solares fotovoltaicos se fundamentan en la capacidad de ciertos materiales semiconductores, principalmente el silicio, que mediante el efecto fotovoltaico convierte la radiación solar en energía eléctrica. Este proceso ocurre cuando los fotones incidentes generan una diferencia de potencial eléctrico al excitar los electrones dentro de la estructura de la célula solar. Al conectar varias celdas fotovoltaicas entre sí para formar módulos y arreglos, es posible alcanzar niveles de potencia adecuados para distintos usos, ya sean residenciales, comerciales o industriales. Para lograr un buen rendimiento también es necesario considerar factores como la eficiencia del sistema, la orientación de los paneles, la temperatura de operación y las pérdidas eléctricas que pueden presentarse durante su funcionamiento (SBC Energy Institute, 2013).

El desarrollo tecnológico de los sistemas fotovoltaicos ha estado marcado por mejoras en el diseño de las celdas, los materiales semiconductores y los procesos de fabricación, lo que ha permitido aumentar su eficiencia y reducir los costos de producción. Asimismo, el desempeño del sistema depende de otros componentes como inversores, sistemas de control y almacenamiento energético, que influyen directamente en la estabilidad y calidad del suministro eléctrico. Estos avances han convertido a la energía solar fotovoltaica en una de las tecnologías más importantes dentro de los sistemas energéticos sostenibles (Zhang et al., 2025).

## Ilustración 10

### *Puesta en marcha de una celda solar*



*Nota: Efecto fotovoltaico sobre una célula solar para alimentar una carga externa. Fuente: SFE Solar, 2023.*

### **2.5.1. Principios de operación de los sistemas fotovoltaicos**

Los sistemas fotovoltaicos funcionan con base en el efecto fotovoltaico, un fenómeno físico que se presenta cuando la radiación solar incide sobre materiales semiconductores, generando la liberación y desplazamiento de electrones. Este comportamiento se produce debido a la estructura interna de la célula solar, conformada por una unión P-N que crea un campo eléctrico interno capaz de inducir una corriente eléctrica continua. Gracias a este principio, la energía solar puede convertirse directamente en energía eléctrica sin necesidad de procesos mecánicos o térmicos intermedios, lo que caracteriza a la tecnología fotovoltaica por su simplicidad operativa y confiabilidad (National Renewable Energy Laboratory, 1995).

En términos operativos, para su uso práctico las celdas solares individuales se interconectan para formar módulos y arreglos fotovoltaicos que permiten alcanzar valores adecuados de tensión y corriente. El rendimiento del sistema está condicionado por variables climáticas como la irradiancia solar disponible, la temperatura ambiente y la orientación e inclinación de los módulos, así como por pérdidas eléctricas del sistema. Por esta razón, el diseño y la disponibilidad de los componentes adecuados resultan

determinantes para maximizar la eficiencia y el aprovechamiento energético de una instalación fotovoltaica (Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos Industriales de España, 2002).

Un sistema fotovoltaico incluye componentes que permiten adaptar la energía generada a las necesidades de consumo o a su conexión con la red eléctrica. Equipos como inversores, sistemas de control y dispositivos de protección son fundamentales para mantener la calidad, estabilidad y seguridad del suministro. Cuando estos elementos se integran correctamente, el sistema puede funcionar de manera eficiente y confiable, lo que convierte a la energía solar fotovoltaica como una tecnología bien consolidada en los sistemas eléctricos actuales (Green et al., 2019).

#### *Ilustración 11*

*Esquema básico de un sistema solar fotovoltaico aislado.*



*Nota: Diagrama representativo de los principales componentes de un sistema fotovoltaico, que incluye panel solar, regulador de carga, banco de baterías, inversor, cuadro de protecciones y cargas eléctricas. Fuente: Greendok, 2025.*

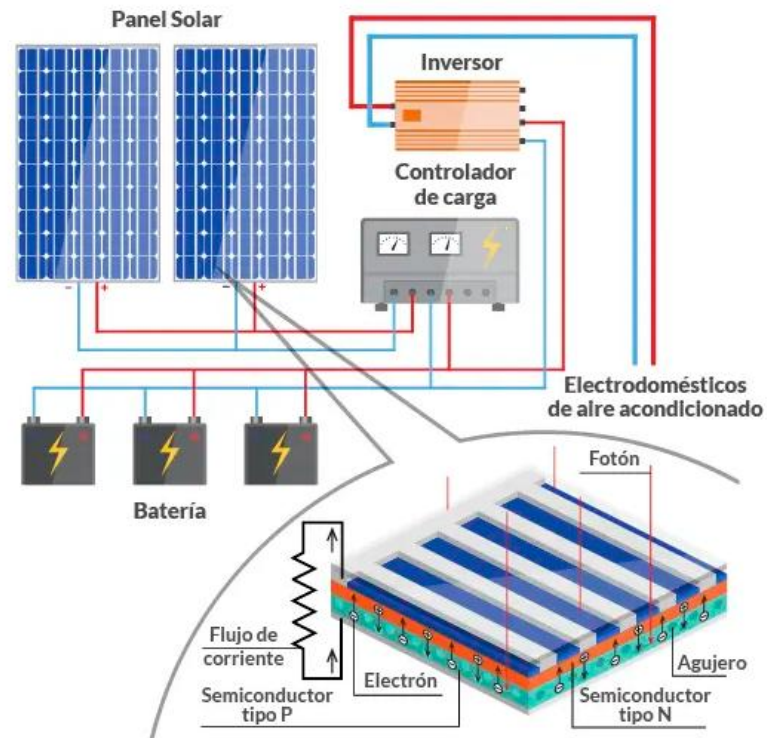
### **2.5.2. Configuración y funcionamiento de las celdas fotovoltaicas**

Las celdas fotovoltaicas se construyen principalmente a partir de silicio semiconductor y presentan una estructura interna basada en una unión p-n, la cual origina un campo eléctrico interno. Este campo permite la separación y el desplazamiento dirigido de los portadores de carga cuando la radiación solar incide sobre la superficie de la celda, dando lugar a la generación de corriente eléctrica continua de forma directa (Philipps et al., 2025).

El rendimiento energético de las celdas fotovoltaicas está condicionado por diversos factores, entre ellos la pureza y calidad del material semiconductor, las condiciones térmicas de operación y el diseño estructural de la celda. Estudios recientes evidencian que los avances en tecnologías de fabricación y optimización del diseño han permitido incrementos sostenidos en la eficiencia de los módulos comerciales, consolidando a la energía fotovoltaica como una opción cada vez más competitiva dentro de la generación eléctrica renovable (IEA, 2023).

**Ilustración 12**

*Celdas fotovoltaicas*



*Nota. Esquema de interconexión de los principales componentes de un sistema solar fotovoltaico, incluyendo paneles solares, controlador de carga, banco de baterías e inversor, así como el principio físico de operación de la celda fotovoltaica basado en la unión P-N y el flujo de electrones generado por la incidencia de la radiación solar. Fuente: LEDSOLAR, 2025.*

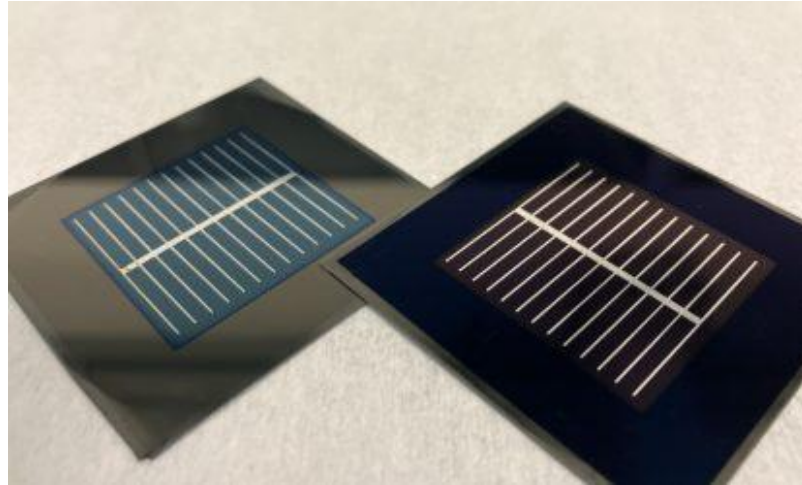
**2.5.3. Desempeño energético y evolución tecnológica**

Actualmente, los módulos fotovoltaicos comerciales alcanzan eficiencias superiores al 20 %, mientras que tecnologías emergentes como las celdas tándem presentan resultados prometedores en entornos de investigación. Estos avances

tecnológicos permiten una mayor producción energética por unidad de área y contribuyen a la reducción progresiva de costos del sistema (Chatzipanagi et al., 2024).

**Ilustración 13**

*Celdas solares de alta eficiencia energetica*



*Nota: Celdas solares tándem basadas en la combinación de materiales semiconductores en capas superpuestas. Fuente: 3SUN, 2024.*

**2.6. Elementos esenciales en sistemas fotovoltaicos**

Un sistema fotovoltaico está formado por varios elementos, entre ellos los paneles solares, inversores, estructuras de soporte y dispositivos de protección eléctrica; en algunos casos también incorpora baterías para almacenar energía. Para que el sistema funcione de manera segura y eficiente a lo largo del tiempo es clave integrar correctamente estos componentes. Por ello, el proceso de diseño y dimensionamiento considera factores como el clima, el consumo y las necesidades de operación para equilibrar la energía disponible, la demanda del sistema y los costos (CEDengineering, 2021).

#### Ilustración 14

#### Componentes de un sistema solar fotovoltaico



*Nota: Elementos fundamentales que conforman un sistema fotovoltaico, los cuales permiten la generación, regulación, conversión y distribución segura de la energía eléctrica producida. Fuente: CEDengineering, 2024.*

### 2.7. Módulos fotovoltaicos

Los módulos fotovoltaicos están formados por varias celdas solares conectadas entre sí y protegidas mediante un encapsulado que permite resguardarlas de factores ambientales como la humedad, el polvo o los cambios de temperatura. Se clasifican principalmente en mono cristalinos, poli cristalinos y de película delgada, cada uno con características particulares en términos de eficiencia, costo y aplicaciones. Los módulos mono cristalinos presentan mayor eficiencia y mejor desempeño en espacios reducidos, por lo que son ampliamente utilizados en instalaciones residenciales y urbanas (Markvart & Castañer, 2017).

#### 2.7.1. Tipos de materiales y avances tecnológicos en módulos fotovoltaicos

Los módulos fotovoltaicos actuales se distinguen por su rendimiento y vida útil principalmente por el tipo de material semiconductor y la tecnología utilizada en su fabricación. Estos factores influyen en aspectos como la eficiencia, el comportamiento frente a la temperatura, la degradación con el tiempo y su desempeño en diferentes condiciones. Con el avance de la tecnología, también se ha logrado reducir gradualmente

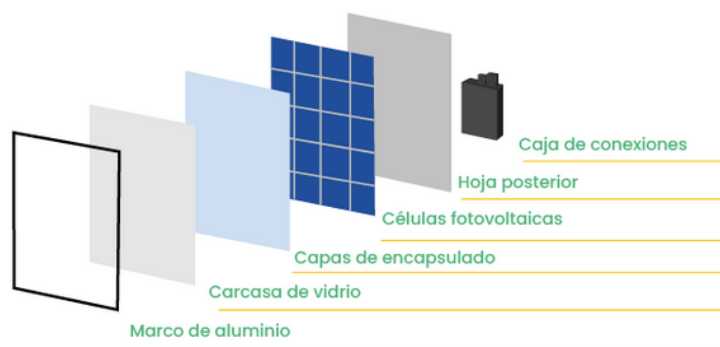
los costos de producción y mantenimiento (Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, 2025).

### 2.7.1.1. Módulos fotovoltaicos monocristalinos

Los módulos fotovoltaicos mono cristalinos, construidos a partir de silicio monocristalino de alta pureza, continúan siendo la tecnología dominante en la industria solar debido a su elevada eficiencia de conversión y estabilidad operativa en comparación con otros tipos de módulos. La estructura cristalina uniforme de estas celdas permite que los portadores de carga se desplacen con mayor facilidad, lo que se refleja en un mejor rendimiento eléctrico por área. Por esta razón, suelen emplearse en instalaciones residenciales y comerciales donde el espacio disponible es limitado. En años recientes, la incorporación de la tecnología TOPCon (Tunnel Oxide Passivated Contact) ha permitido que los módulos monocristalinos superen eficiencias comerciales del 24 % en producción a gran escala, debido a una mejor pasivación de la superficie y a la reducción de pérdidas por recombinación de cargas. Además, estas tecnologías avanzadas han reducido el impacto ambiental de su producción mediante optimización de procesos y materiales, posicionándolos como una opción sostenible para la expansión global de la energía solar (Clean Energy Reviews, 2025).

*Ilustración 15*

#### *Componentes de un panel solar mono cristalino*



*Nota. Esquema de composición interna de un módulo fotovoltaico mono cristalino, donde se identifican el marco de aluminio, la carcasa de vidrio, las capas de encapsulado, las celdas fotovoltaicas, la hoja posterior y la caja de conexiones, elementos que garantizan la protección mecánica, el aislamiento eléctrico y el correcto funcionamiento del módulo en condiciones ambientales reales. Fuente: AutoSolar, 2023.*

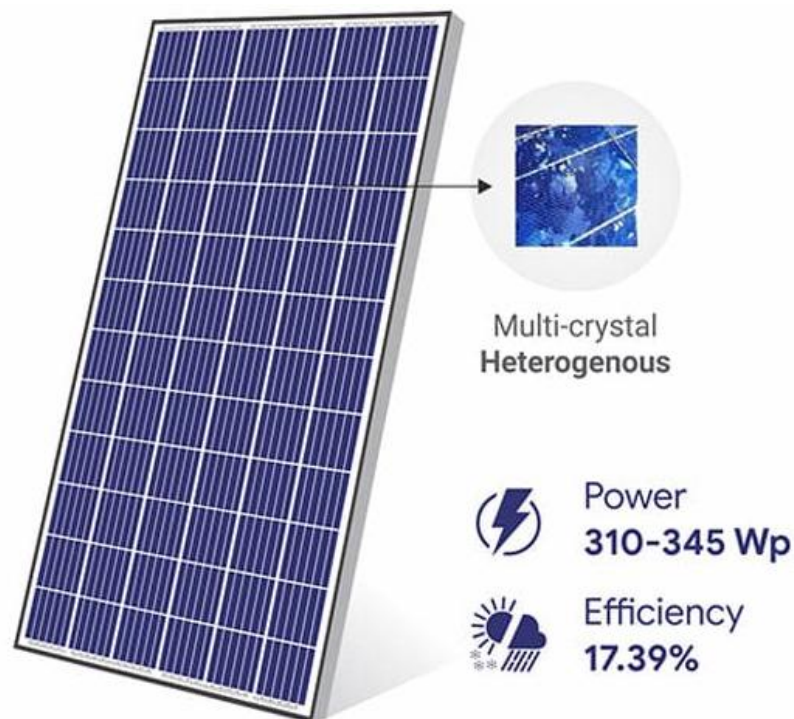
### 2.7.1.2. Módulos fotovoltaicos poli cristalinos

Los módulos fotovoltaicos poli cristalinos están compuestos por múltiples cristales de silicio solidificados conjuntamente, lo que genera una estructura interna menos uniforme en comparación con los módulos mono cristalinos. Esta característica se traduce en una eficiencia de conversión ligeramente inferior, que en la actualidad se sitúa generalmente entre el 16 % y el 19 % en aplicaciones comerciales (Aedelia & Wijayanto, 2025).

Los paneles policristalinos siguen siendo una opción técnicamente válida aunque su eficiencia suele ser menor en comparación con otros tipos de módulos, sobre todo en proyectos de gran tamaño donde el espacio disponible no es una limitación importante. Su fabricación requiere menos energía, lo que generalmente se traduce en un costo inicial más accesible sin embargo, pueden presentar una degradación mayor con el tiempo y un desempeño térmico desfavorable, aspecto que es importante considerar al momento de diseñar el sistema (Ben Rabha et al., 2025).

*Ilustración 16*

*Módulo fotovoltaico policristalino y estructura cristalina heterogénea*



*Nota: Módulo fotovoltaico policristalino, caracterizado por una estructura interna formada por múltiples cristales de silicio, siendo común su aplicación en instalaciones donde la disponibilidad de superficie no constituye una limitación crítica. Fuente: Rincón de la Tecnología, 2022.*

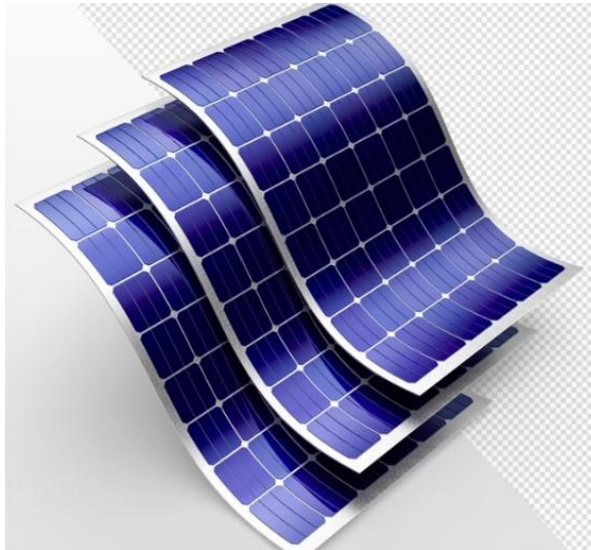
### **2.7.1.3. Módulos fotovoltaicos de capa fina**

Los módulos fotovoltaicos de capa delgada emplean compuestos semiconductores diferentes al silicio cristalino tradicional, tales como telurio de cadmio (CdTe), diseleniuro de cobre, indio y galio (CIGS) y silicio amorfo, que utilizan la radiación solar para la generación de energía eléctrica. Estas tecnologías se caracterizan por emplear capas extremadamente delgadas de material activo, lo que reduce el consumo de materia prima y permite una mayor flexibilidad estructural (Intal & Ebong, 2026).

Las eficiencias de los módulos de capa fina suelen oscilar entre el 12 % y el 16 %, valores inferiores a los de los módulos cristalinos. Sin embargo, su menor peso, mejor desempeño en condiciones de alta temperatura y mayor adaptabilidad estética los convierten en una opción atractiva para aplicaciones arquitectónicas integradas, fachadas solares y sistemas portátiles. Además, estas tecnologías presentan ventajas en términos de sostenibilidad y reciclabilidad cuando se gestionan adecuadamente (Utec by Ultratech, 2025).

#### **Ilustración 17**

*Módulos fotovoltaicos de capa fina y flexible*



*Nota: Módulos fotovoltaicos de capa fina, caracterizados por el uso de materiales semiconductores depositados en capas delgadas sobre sustratos flexibles, manteniendo un desempeño adecuado en condiciones de alta temperatura. Fuente: El Portal de la Energía, 2022.*

## **2.7.2. Conceptualización, planificación, diseño y desmontaje de sistemas**

### **fotovoltaicos**

El éxito de una instalación fotovoltaica no depende únicamente de la tecnología del módulo, sino también de una correcta planificación y diseño del sistema. Aspectos como la orientación, la inclinación, la estructura de soporte y los criterios de desmontaje influyen directamente en el rendimiento energético, la seguridad y la sostenibilidad del proyecto a lo largo de su vida útil (Baranyai et al., 2025).

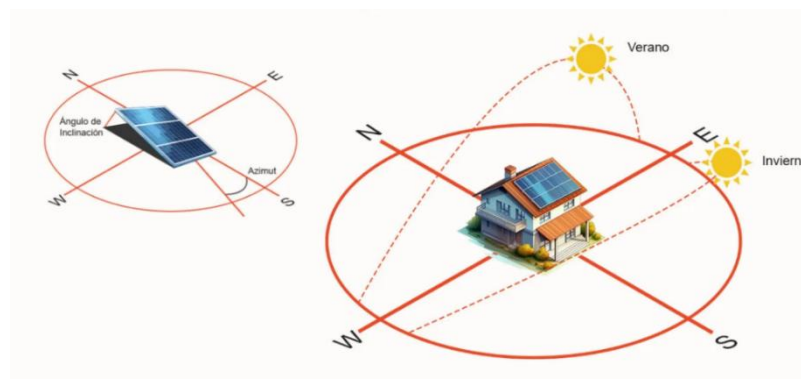
#### **2.7.2.1. Ubicación y ángulo de los módulos**

La ubicación y el ángulo de inclinación de los módulos fotovoltaicos son factores determinantes para maximizar la captación de radiación solar. De manera general, en el hemisferio norte se recomienda una orientación hacia el sur, mientras que en el hemisferio sur la orientación óptima es hacia el norte, con el fin de maximizar la exposición solar anual (Huawei , 2024).

La inclinación óptima de los módulos depende de la latitud del lugar y puede ajustarse para priorizar la producción anual o estacional. El uso de estructuras ajustables o sistemas de seguimiento solar permite que los paneles aprovechen mejor la radiación durante el día y en las distintas épocas del año, lo que ayuda a mejorar el rendimiento general del sistema fotovoltaico. (Ukoima et al., 2024).

#### **Ilustración 18**

*Ubicación y ángulo de módulos fotovoltaicos según la trayectoria solar estacional*



*Nota: Relación entre el ángulo y la posición de los módulos fotovoltaicos respecto a la trayectoria aparente del Sol.  
Fuente: SunFields, 2025.*

### **2.7.2.2. Procedimientos de rastreo solar**

Los sistemas de rastreo solar permiten ajustar automáticamente la posición de los módulos fotovoltaicos para seguir el movimiento aparente del Sol a lo largo del día. Estos sistemas pueden ser de un eje o de dos ejes, dependiendo del grado de seguimiento requerido. Los seguidores de un eje ajustan la orientación en una sola dirección, mientras que los de dos ejes optimizan tanto la inclinación como la orientación del módulo (AL-Rasheedi & Al-Khayat, 2024).

Varios estudios señalan que los sistemas de rastreo solar pueden aumentar la producción de energía aproximadamente entre un 15 % y un 25 % en comparación con las instalaciones fijas. Sin embargo, su implementación requiere una mayor inversión inicial y más mantenimiento, por lo que conviene analizar su conveniencia según el tamaño del proyecto y las condiciones de radiación solar del lugar (Sadeghi et al., 2025).

### **2.7.3. Infraestructura y durabilidad de los módulos fotovoltaicos**

Los módulos fotovoltaicos modernos se diseñan para operar de manera segura frente a condiciones ambientales exigentes. Para ello emplean vidrio templado de alta resistencia en la parte frontal, recubrimientos antirreflejantes que optimizan la captación de radiación solar y marcos de aluminio anodizado que reducen los efectos de la corrosión. Este tipo de construcción permite que los paneles soporten cargas mecánicas producidas por el viento, impactos de granizo y variaciones térmicas sin afectar su funcionamiento ni la estabilidad del sistema (Sandia National Laboratories, 2023).

En los módulos fotovoltaicos actuales se incorporan materiales y elementos estructurales orientados a mejorar su durabilidad en exteriores. El uso de vidrio templado protector, superficies con tratamiento antirreflejante y estructuras de aluminio anodizado contribuye a proteger las celdas frente a agentes ambientales y esfuerzos mecánicos. Gracias a estas características, los paneles pueden mantener un desempeño estable aun cuando están expuestos a cambios de temperatura, presión del viento o caída de granizo (Jordan & Kurtz, 2013).

## Ilustración 19

### *Accesorios para estructuras solares fotovoltaicas*



*Nota: Componentes utilizados en sistemas de montaje para paneles solares fotovoltaicos. Fuente. Distrisolar Ecuador, 2024.*

## 2.8. Controladores de carga

El controlador de carga es un componente esencial en los sistemas fotovoltaicos que incorporan almacenamiento en baterías. Su función principal consiste en regular el flujo de energía eléctrica entre los módulos fotovoltaicos y el banco de baterías, asegurando que el proceso de carga se realice dentro de los parámetros eléctricos adecuados (Hernández, 2023).

La sobrecarga de una batería puede ocasionar daños permanentes, disminuir su capacidad de almacenamiento y generar riesgos para la seguridad. Por otro lado, una descarga excesiva acelera el desgaste químico interno. Para evitar estas situaciones, el controlador de carga supervisa de manera constante el voltaje y la corriente del sistema, asegurando un funcionamiento estable y confiable (Alonso, 2025).

Además, este dispositivo impide que la corriente almacenada en las baterías fluya de regreso hacia los paneles solares durante la noche o cuando la radiación solar es muy baja. De esta manera, se evitan pérdidas de energía y se protege la integridad de los componentes del sistema fotovoltaico (Hernández, 2023).

### 2.8.1. Tipos de controladores de carga

En los sistemas fotovoltaicos, los controladores de carga más comunes se dividen en dos categorías principales: Modulación por Ancho de Pulso (PWM) y Seguimiento del Punto de Máxima Potencia (MPPT). Los controladores PWM regulan el proceso de carga

mediante la modulación del ancho de pulso, conectando y desconectando el generador fotovoltaico al banco de baterías para controlar el voltaje aplicado durante la carga. Este tipo de controlador es adecuado para sistemas fotovoltaicos de pequeña escala ya que se caracteriza por poseer una estructura electrónica sencilla y un costo reducido sin embargo, presenta limitaciones en su eficiencia energética, ya que obliga al módulo fotovoltaico a operar al voltaje de la batería, impidiendo el aprovechamiento completo de la potencia disponible del panel solar (Masters, 2023).

Por otro lado, los controladores MPPT incorporan algoritmos avanzados que permiten identificar y operar en el punto de máxima potencia del panel solar. Esto se traduce en un mayor aprovechamiento de la energía disponible, principalmente cuando se presentan cambios en la temperatura y en la intensidad de la radiación solar (Tan & Mohamad-Saleh, 2023).

#### **2.8.1.1. Mando de carga PWM (Pulse Width Modulation)**

El controlador de carga PWM es una tecnología tradicional ampliamente utilizada en sistemas fotovoltaicos de pequeña escala. El funcionamiento de este dispositivo se basa en conectar directamente el panel solar con la batería mediante pulsos eléctricos. A través de este proceso, regula el voltaje de carga interrumpiendo y restableciendo la corriente de manera periódica, según las necesidades y el estado de la batería (Masters, 2023).

Una de las ventajas de los controladores PWM es su diseño sencillo, lo que les otorga mayor robustez y reduce la probabilidad de fallos electrónicos. Sin embargo, esa misma simplicidad hace que el panel solar trabaje al mismo voltaje que la batería, lo cual genera pérdidas de energía cuando el voltaje óptimo del panel es superior al del sistema de almacenamiento (Messenger & Ventre, 2022).

Los controladores de carga tipo PWM suelen emplearse en sistemas fotovoltaicos de pequeña capacidad donde el costo del sistema es un criterio determinante en el diseño. Aunque su eficiencia es menor en comparación con tecnologías más avanzadas, su simplicidad y bajo costo los hacen adecuados para aplicaciones aisladas como sistemas de electrificación rural, alumbrado autónomo, estaciones de monitoreo meteorológico y otras instalaciones fotovoltaicas de baja potencia (Duffie y Beckman, 2023).

## Ilustración 20

Controlador de carga solar tipo PWM



*Nota: Controlador de carga solar utilizado en sistemas fotovoltaicos autónomos de pequeña escala. Fuente: JMHPower, 2024.*

### 2.8.1.2. Controlador de carga MPPT (Maximum Power Point Tracking)

El controlador de carga MPPT representa una tecnología avanzada diseñada para maximizar la energía extraída de los módulos fotovoltaicos. Su funcionamiento se basa en algoritmos electrónicos que identifican continuamente el punto de máxima potencia del panel solar, ajustando el voltaje y la corriente entregados a la batería para optimizar el rendimiento del sistema (Tan & Mohamad-Saleh, 2023).

Una de las principales ventajas del controlador MPPT es su alta eficiencia energética, la cual puede ser entre un 20 % y 30 % superior en comparación con los controladores PWM, especialmente en condiciones de baja irradiancia o temperaturas elevadas. Esto permite una mejor adaptación a variaciones climáticas y mayor flexibilidad en el diseño del sistema (Villalva & Gazoli, 2022)

Los controladores MPPT son ampliamente utilizados en sistemas residenciales, comerciales e industriales, donde se requiere un aprovechamiento óptimo de la energía solar. Su mayor costo inicial se ve compensado por una mayor producción energética y una mejor gestión del banco de baterías a largo plazo (Masters, 2023).

Ilustración 21

**Controlador de carga solar MPPT EPEVER**



*Nota. Controlador de carga solar con tecnología MPPT (Maximum Power Point Tracking) de la marca EPEVER.*

*Fuente: EPEVER Technology Co., Ltd. (2024).*

**2.8.2. Características técnicas de los controladores de carga**

Entre las principales características técnicas de los controladores de carga los parámetros que determinan la capacidad del controlador para adaptarse a diversas configuraciones de sistemas fotovoltaicos se encuentran el voltaje nominal del sistema, la corriente máxima de entrada, la eficiencia de conversión y la compatibilidad con distintos tipos de baterías (Messenger & Ventre, 2022).

Asimismo, los controladores modernos incluyen sistemas de protección contra sobre corriente, cortocircuito, polaridad inversa y sobre temperatura. Estas protecciones contribuyen significativamente a la seguridad del sistema y a la prolongación de la vida útil de los componentes eléctricos (Arun et al., 2024).

**Tabla 1**

*Características técnicas de controladores de carga.*

<b>Característica</b>	<b>PWM</b>	<b>MPPT</b>
Eficiencia energética	Media	Alta
Complejidad	Baja	Alta
Costo	Bajo	Alto

Aprovechamiento del panel	Limitado	Óptimo
Aplicación	Sistemas pequeños	Sistemas medianos y grandes

*Nota: La tabla presenta una comparación general entre los controladores de carga PWM y MPPT en función de sus principales características técnicas y operativas. La información se basa en literatura técnica especializada sobre sistemas fotovoltaicos.*

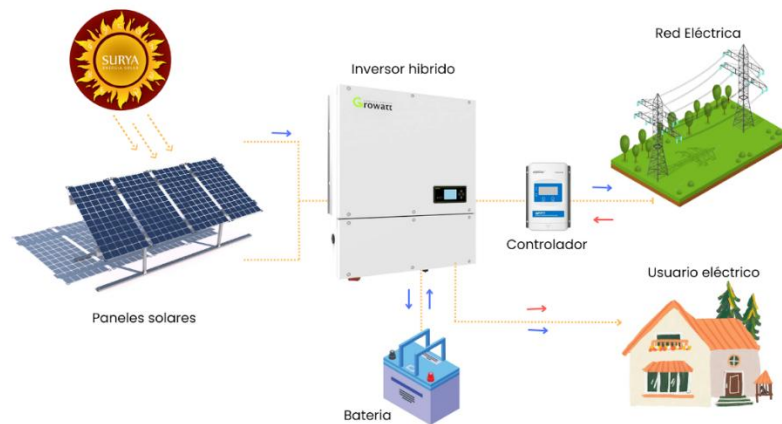
## 2.9. Sistemas de conversión de potencia en instalaciones fotovoltaicas

Los sistemas de conversión de potencia, representados principalmente por los inversores fotovoltaicos, tienen la función de transformar en corriente alterna la corriente continua producida por los paneles solares, que es la forma compatible tanto con los equipos eléctricos como con la red de distribución. Además, estos dispositivos integran mecanismos de protección y control que contribuyen a mejorar el rendimiento y la seguridad del sistema (Cao et al., 2025).

Los inversores híbridos combinan la generación solar, el almacenamiento en baterías y la conexión a la red eléctrica. Debido a esta integración, ofrecen mayor flexibilidad en la operación y aseguran la continuidad del suministro de energía (Yin et al., 2024).

Ilustración 22

### *Inversores híbridos*



*Nota: Esquema funcional de un sistema fotovoltaico híbrido que integra paneles solares, inversor híbrido, banco de baterías, red eléctrica convencional y cargas del usuario, permitiendo la gestión bidireccional de la energía para garantizar la continuidad del suministro eléctrico. Fuente: Energía Solar Surya, 2024.*

### **2.9.1. Tipos de inversores**

Los inversores se clasifican según la forma de onda de salida, en inversores de onda senoidal pura e inversores de onda senoidal modificada. Los inversores de onda pura generan una señal prácticamente idéntica a la de la red eléctrica convencional, garantizando compatibilidad total con cargas sensibles (Villalva & Gazoli, 2022)

Por su parte, los inversores de onda modificada producen una señal escalonada que resulta adecuada para cargas simples, aunque puede generar interferencias y menor eficiencia en dispositivos electrónicos avanzados (Masters, 2023)

#### **2.9.1.1. Inversor de onda senoidal pura**

El inversor de onda senoidal pura es el tipo más avanzado y recomendado para sistemas fotovoltaicos modernos. Este dispositivo genera una señal de corriente alterna prácticamente idéntica a la suministrada por la red eléctrica convencional, lo que garantiza una compatibilidad total con todo tipo de cargas eléctricas (Villalva & Gazoli, 2022)

Una característica fundamental de este tipo de inversor es su baja distorsión armónica total (THD), lo que reduce pérdidas energéticas, interferencias electromagnéticas y el sobrecalentamiento de motores y equipos electrónicos sensibles. Esta característica adquiere mayor importancia en sistemas que alimentan cargas sensibles como computadoras, refrigeradores, bombas eléctricas o equipos médicos, ya que estos dispositivos requieren un suministro eléctrico estable para operar (Messenger & Ventre, 2022).

Los inversores de onda senoidal pura se emplean con mayor frecuencia en sistemas fotovoltaicos residenciales, comerciales e incluso industriales, así como en instalaciones híbridas o aisladas donde se requiere una señal eléctrica estable y de buena calidad. Aunque su costo suele ser mayor en comparación con otros tipos de inversores, ofrecen un funcionamiento más confiable y eficiente, lo que los hace adecuados para alimentar equipos sensibles o cargas consideradas críticas dentro del sistema (Duffie y Beckman, 2023).

Ilustración 23

*Inversor onda senoidal pura para sistemas fotovoltaicos*



*Nota: Inversor de potencia DC-AC con potencia nominal de 1000 W y capacidad de pico de 2000 W, la figura muestra un modelo disponible en el mercado, el cual representa el diseño típico de inversores utilizados en sistemas fotovoltaicos de pequeña y mediana escala. Fuente: JCPOWER Inverter, 2026.*

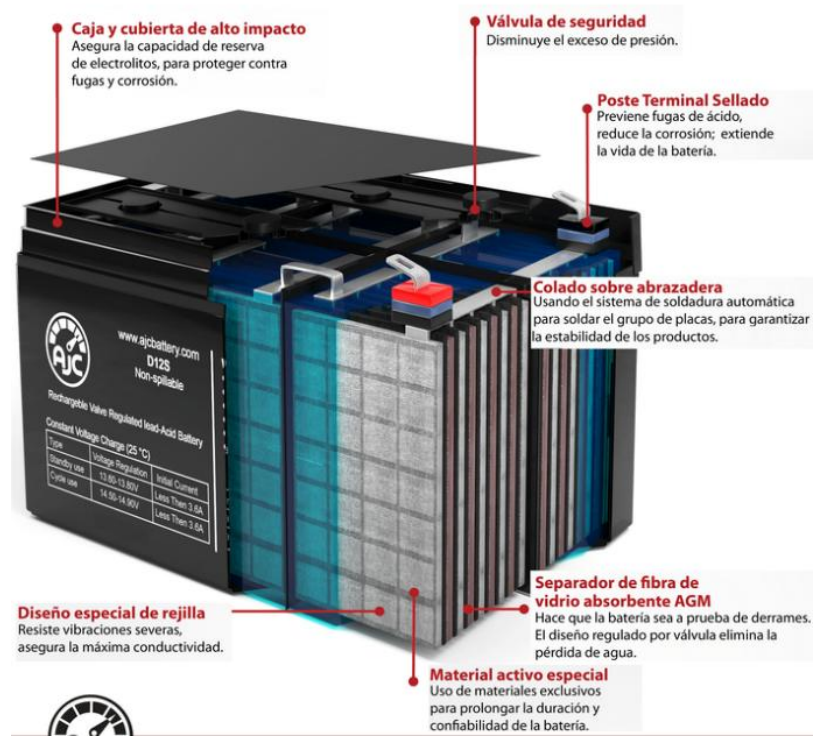
## **2.10. Tecnologías de almacenamiento energético**

El almacenamiento energético permite desacoplar la generación solar del consumo eléctrico, incrementando la autonomía del sistema y mejorando la continuidad del suministro. Las baterías de ion-litio se han consolidado como la tecnología predominante debido a su alta eficiencia, mayor densidad energética y vida útil prolongada (Roy, 2023).

### **2.10.1. Tipos de batería**

Las baterías de plomo-ácido son ampliamente utilizadas debido a su bajo costo y tecnología madura, aunque presentan limitaciones en cuanto a vida útil y profundidad de descarga (Masters, 2023).

**Composición de una batería sellada de ácido-plomo**



Nota: Diagrama seccionado de una batería sellada de plomo-ácido regulada por válvula (VRLA) con tecnología AGM (Absorbent Glass Mat). Fuente: Electrónica Aragon, 2025.

Las baterías de litio representan una alternativa moderna con alta densidad energética, mayor número de ciclos y eficiencia superior, siendo cada vez más utilizadas en aplicaciones residenciales y comerciales, a pesar de su mayor costo inicial (Otovo, 2025).

**2.10.1.1. Baterías de plomo-ácido abiertas**

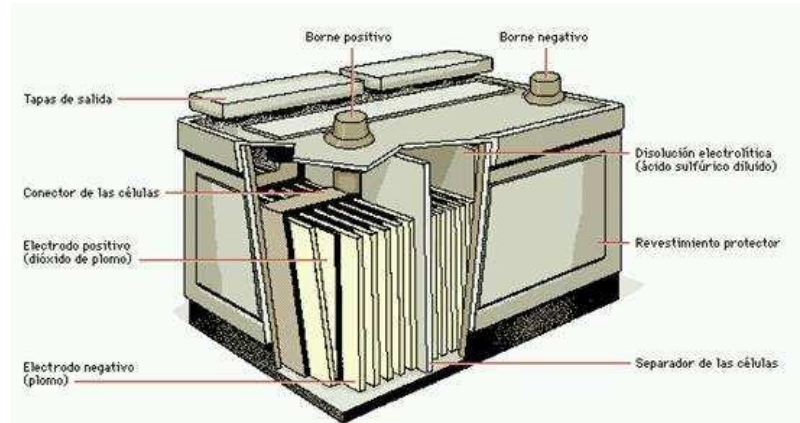
Las baterías de plomo-ácido abiertas son una de las tecnologías más antiguas y utilizadas en sistemas fotovoltaicos, debido a su bajo costo inicial y amplia disponibilidad. Estas baterías requieren mantenimiento periódico, que incluye la reposición de agua destilada y la verificación del nivel de carga ya que utilizan un electrolito líquido (Masters, 2023).

Una de sus principales limitaciones es la reducida profundidad de descarga, generalmente no mayor al 50 %, ya que las descargas profundas frecuentes aceleran su desgaste. Aun así, continúan empleándose en sistemas de bajo presupuesto y en

aplicaciones donde el mantenimiento regular no representa un inconveniente significativo (Duffie y Beckman, 2023).

*Ilustración 25*

***Esquema batería plomo-acido abierta.***



*Nota: Esquema seccionado de una batería de plomo-ácido convencional, en el cual se identifican sus principales componentes internos y externos, siendo este tipo de batería ampliamente utilizado en sistemas de almacenamiento energético, aplicaciones automotrices y sistemas fotovoltaicos de pequeña y mediana escala. Fuente: ResearchGate, 2022.*

### **2.10.1.2. Baterías AGM (Absorbed Glass Mat)**

Las baterías AGM constituyen una variante sellada de las baterías de plomo-ácido, en las cuales el electrolito se encuentra absorbido en separadores de fibra de vidrio lo que elimina la necesidad de mantenimiento y reduce el riesgo de derrames o emisión de gases (Messenger & Ventre, 2022).

Estas baterías una opción adecuada para aplicaciones residenciales y sistemas fotovoltaicos de tamaño medio ya que ofrecen una mejor resistencia frente a vibraciones y una mayor eficiencia en comparación con las baterías abierta aunque su costo es más elevado y su vida útil continúa siendo menor en relación con tecnologías más modernas, como las basadas en litio (Masters, 2023).

Ilustración 26

*Batería de plomo-ácido sellada con tecnología AGM (Absorbent Glass Mat)*



*Nota: Batería de plomo-ácido sellada que emplea tecnología AGM (Absorbent Glass Mat), en la cual el electrolito se encuentra absorbido en separadores de fibra de vidrio ubicados entre las placas positivas y negativas. Fuente: Strytem Energy, 2024.*

### **2.10.1.3. Baterías de gel**

Las baterías de gel brinda una mayor tolerancia frente a descargas profundas y a variaciones de temperatura ya que utiliza un electrolito gelificado que mejora la estabilidad química interna y reduce la evaporación del electrolito lo que prolonga su vida útil en comparación con las baterías de plomo-ácido convencionales (Duffie y Beckman, 2023).

En sistemas fotovoltaicos aislados que requieren un funcionamiento confiable con mínimo mantenimiento son ampliamente utilizadas. Sin embargo, es necesario contar con controladores de carga bien calibrados, ya que son sensibles a sobrecargas prolongadas (Messenger & Ventre, 2022).

**Batería de plomo-ácido sellada con tecnología de gel para sistemas fotovoltaicos**



*Nota: Batería de plomo-ácido sellada que emplea tecnología de gel, en la cual el electrolito de ácido sulfúrico se encuentra inmovilizado mediante la incorporación de sílice, formando una estructura gelatinosa. Fuente: Construex, 2025.*

**2.10.1.5. Baterías de litio**

Las baterías de litio, especialmente las de tipo  $\text{LiFePO}_4$ , representan la tecnología más avanzada para almacenamiento energético en sistemas fotovoltaicos, se distinguen por su alta densidad energética, una mayor profundidad de descarga utilizable y un número elevado de ciclos de carga y descarga (Tan & Mohamad-Saleh, 2023).

Ofrecen una eficiencia superior y un peso más reducido en comparación con las tecnologías basadas en plomo, lo que las convierte en la opción preferida para sistemas residenciales modernos, instalaciones híbridas y aplicaciones industriales, aunque su costo inicial es más alto su larga vida útil y el bajo requerimiento de mantenimiento las hacen competitivas desde el punto de vista económico (Villalva & Gazoli, 2022).

Ilustración 28

**Baterías de fosfato de hierro y litio (LiFePO4)**



*Nota: Baterías recargables basadas en química de fosfato de hierro y litio (LiFePO4), caracterizadas por su alta densidad energética. Fuente: Sylvania Group, 2025.*

**2.11. Análisis de beneficios y restricciones de los sistemas fotovoltaicos**

Entre los principales beneficios de los sistemas fotovoltaicos se destacan la reducción de emisiones contaminantes, el aprovechamiento de una fuente energética gratuita y la disminución de la dependencia de la red eléctrica convencional (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2022).

Ilustración 29

**Principales ventajas del uso de la energía solar**



*Nota: La figura ilustra de manera esquemática las principales ventajas asociadas al aprovechamiento de la energía solar como fuente energética. Fuente:Expok, 2023.*

No obstante, estos sistemas presentan restricciones asociadas a la variabilidad de la radiación solar y a la inversión inicial requerida, especialmente cuando se incorporan sistemas de almacenamiento energético (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2021).

## 2.12. Tipología y esquemas de configuración de los sistemas fotovoltaicos

Los sistemas fotovoltaicos pueden clasificarse en sistemas interconectados a red, aislados e híbridos, según su relación con la red eléctrica y la presencia de almacenamiento energético. Cada esquema se adapta a necesidades específicas de consumo y a las condiciones de la infraestructura disponible (Herez et al., 2023).

En este sentido, los sistemas híbridos integran la generación solar, el almacenamiento en baterías y la conexión a la red eléctrica, ofreciendo una solución completa que permite aprovechar mejor la energía renovable y asegurar la continuidad del suministro eléctrico (Zhang et al., 2022).

Ilustración 30

*Sistemas fotovoltaicos según su conexión*



*Nota: Clasificación general de los sistemas fotovoltaicos según su modalidad de conexión. Fuente: Área Tecnología, 2024.*

## CAPITULO III

### LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN

#### 3.1. Generalidades

##### 3.1.1. Antecedentes del proyecto

En el escenario actual, la continuidad del suministro eléctrico representa un factor crítico y determinante para el funcionamiento adecuado de los sistemas tecnológicos que respaldan la seguridad y la gestión operativa en las instituciones de educación superior. Dentro de este conjunto de tecnologías, los sistemas de control de acceso ocupan una posición estratégica, ya que permiten administrar de forma ordenada el ingreso y salida de estudiantes, docentes, personal administrativo y visitantes, contribuyendo de manera directa a la protección de las instalaciones y de los recursos institucionales.

La Universidad Católica de Santiago de Guayaquil cuenta con sistemas de control de acceso electrónico instalados en puntos clave de su campus. El funcionamiento continuo de estos sistemas depende de manera directa de la disponibilidad del suministro eléctrico. No obstante, tanto a nivel local como nacional, la red eléctrica se encuentra expuesta a interrupciones no previstas, cortes programados y fallas técnicas, situaciones que pueden ocasionar la suspensión temporal del funcionamiento de dichos sistemas.

Cuando se producen interrupciones en el suministro eléctrico, los sistemas de control de acceso pueden dejar de operar correctamente, lo que provoca pérdida de control en el flujo de personas y aumenta los riesgos para la seguridad de las instalaciones. Esta situación también genera retrasos en las actividades académicas y administrativas, ya que el personal debe recurrir a registros manuales que resultan más lentos y menos confiables. Además, la ausencia de mecanismos adecuados de trazabilidad dificulta el seguimiento de ingresos y salidas, evidenciando una debilidad operativa que afecta la calidad del servicio institucional y la percepción de seguridad dentro del campus universitario.

En este contexto, los accesos vehiculares de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil requieren un sistema de respaldo energético que permita mantener su operación durante fallas en la red eléctrica. El diseño de esta solución debe considerar criterios de confiabilidad, eficiencia y compatibilidad con la infraestructura tecnológica existente, así como el cumplimiento de la normativa eléctrica y de seguridad aplicable.

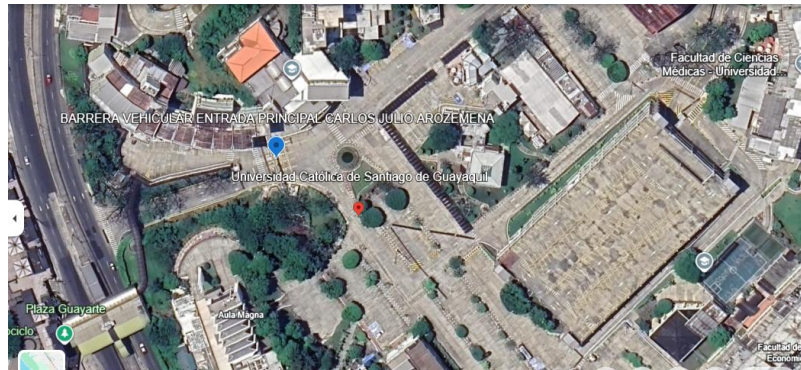
Contar con un sistema de estas características contribuirá a reducir los efectos de los cortes de energía y a fortalecer la capacidad operativa de la universidad, garantizando un entorno más seguro y funcional para la comunidad universitaria.

### 3.2. Ubicación geográfica

La Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo se encuentra ubicada en la ciudad de Guayaquil, en la región costera de Ecuador. Su dirección es: Avenida Carlos Julio Arosemena Km. 1.5, Guayaquil-Ecuador. Con coordenadas geográficas: Latitud: -2.1833 Longitud: -79.8833.

Ilustración 31

#### *Ubicación FETD*



*Nota: Ubicación de la FETD en Global Solar Atlas Fuente: Global Solar Atlas, 2026.*

#### 3.2.1. Descripción del área de estudio

El área de estudio corresponde a las instalaciones físicas de las garitas de control de acceso de la Facultad Técnica para el Desarrollo perteneciente a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Estas instalaciones incluyen las garitas de acceso vehicular, que requieren un control constante y eficiente para la entrada y salida de vehículos. En estos espacios se emplean sistemas electrónicos de control de acceso que dependen directamente del suministro eléctrico para funcionar, mantener su operación continua garantiza la seguridad, el orden y la adecuada gestión del flujo de estudiantes, docentes, personal administrativo y visitantes.

Por esta razón, el estudio busca analizar las condiciones actuales de suministro energético en la facultad y evaluar la necesidad de un sistema de respaldo de energía que

asegure la continuidad del servicio ante eventuales interrupciones del suministro eléctrico principal.

### 3.3. Condiciones climáticas de FETD

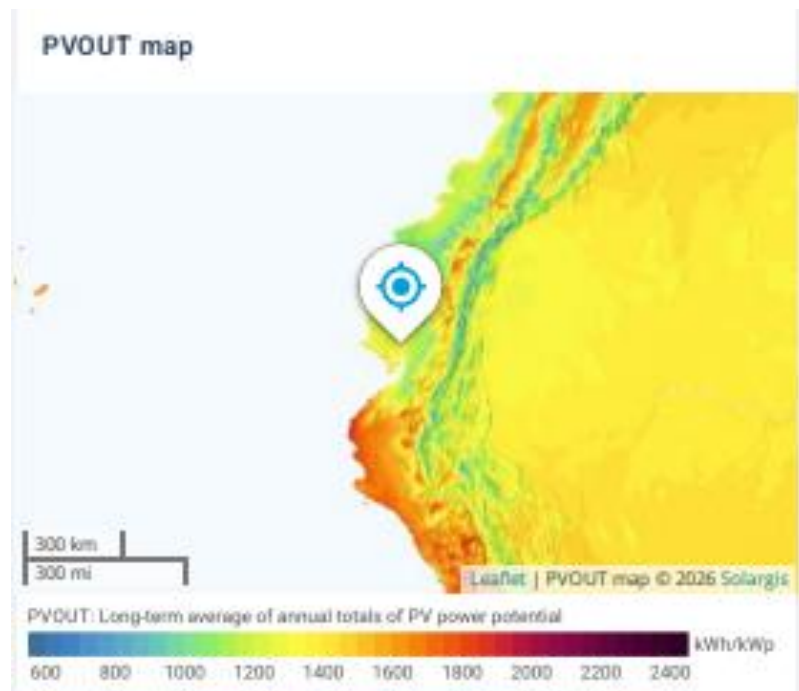
#### 3.3.1. Irradiación global promedio

De acuerdo con el Atlas Solar (2025), la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo, ubicada en la ciudad de Guayaquil, presenta condiciones favorables para el aprovechamiento de la energía solar. El informe indica que la irradiación horizontal global (GHI) alcanza un valor aproximado de 1625,7 kWh/m<sup>2</sup> al año. Asimismo, se reporta una irradiación directa normal (DNI) de 914,5 kWh/m<sup>2</sup> y una irradiación difusa horizontal (DIF) de 932,6 kWh/m<sup>2</sup>.

En relación con la captación de energía en superficies inclinadas, la irradiación global con ángulo óptimo (GTI opta) se estima en 16,28 kWh/m<sup>2</sup>/día, considerando una inclinación óptima de los módulos fotovoltaicos cercana a 4°. Además, la zona presenta una temperatura media del aire de aproximadamente 24,3 °C, condición que influye en el comportamiento y rendimiento de los sistemas fotovoltaicos instalados

Ilustración 32

#### *Irradiación Global Promedio*



*Nota: IGP de la FETD Fuente: Global Solar Atlas, 2026.*

Considerando los datos de irradiación mensual de FETD se evidencia una variabilidad moderada a lo largo del año, con un valor anual de irradiación horizontal global de 1568.1 kWh/m<sup>2</sup> y una variabilidad interanual del 6.8%, lo que refleja una disponibilidad relativamente estable del recurso solar (véase Ilustración 24). Los niveles más altos de irradiación se registran principalmente durante los primeros cuatro meses del año, destacando los meses de marzo y abril, con valores de irradiación horizontal global de 158,4 kWh/m<sup>2</sup> y 155,9 kWh/m<sup>2</sup>, respectivamente. Durante el segundo semestre, el mes de diciembre presenta condiciones favorables para la generación solar, registrando una irradiación global de 136,7 kWh/m<sup>2</sup>. Además, se observa una contribución importante de radiación difusa, lo que confirma la disponibilidad del recurso solar en ese periodo.

Por el contrario, los meses de septiembre y octubre muestran los niveles más bajos de irradiación horizontal global, con valores de 119,6 kWh/m<sup>2</sup> y 111,4 kWh/m<sup>2</sup>, respectivamente. Estos resultados indican una reducción del potencial de aprovechamiento solar durante esos meses. Esta reducción puede estar relacionada con factores climáticos como mayor nubosidad y humedad relativa. Aun así, la estabilidad general del recurso a lo largo del año confirma que la zona de estudio cuenta con condiciones favorables para la implementación de sistemas fotovoltaicos, con un rendimiento más eficiente en los meses de mayor irradiación y una ligera reducción en la producción hacia el último trimestre.

### Ilustración 33

*Irradiación solar mensual y variables meteorológicas del sitio Cooperativa San Pedro FETD (Ecuador).*

Sitio **Cooperativa San Pedro (Ecuador)**  
Fuente de datos **Meteonorm 8.2 (2016-2021), Sat=100%**

	<b>Irradiación horizontal global</b> kWh/m <sup>2</sup> /mes	<b>Irradiación difusa horizontal</b> kWh/m <sup>2</sup> /mes	<b>Temperatura</b> °C	<b>Velocidad del viento</b> m/s	<b>Turbidez Linke</b> [-]	<b>Humedad relativa</b> %
Enero	144.3	80.2	26.6	1.29	4.356	70.9
Febrero	128.9	76.9	26.5	1.00	4.181	76.7
Marzo	158.4	90.8	27.0	1.09	4.236	74.5
Abril	155.9	81.9	26.7	1.20	4.692	74.8
Mayo	140.2	72.5	26.4	1.49	4.620	72.2
Junio	120.9	72.0	24.8	2.10	4.150	73.6
Julio	118.6	75.6	24.5	2.39	3.930	71.6
Agosto	118.9	74.9	24.1	2.80	4.153	71.0
Septiembre	119.6	74.1	24.1	2.90	4.681	70.5
Octubre	111.4	70.3	24.5	2.79	4.861	69.2
Noviembre	114.3	76.4	24.7	2.70	4.996	68.8
Diciembre	136.7	86.2	26.6	2.20	5.265	64.3
<b>Año</b>	<b>1568.1</b>	<b>931.9</b>	<b>25.5</b>	<b>2.0</b>	<b>4.510</b>	<b>71.5</b>

Irradiación horizontal global variabilidad año a año **6.8%**

*Nota: Datos de irradiación solar mensual y variables meteorológicas del sitio Cooperativa San Pedro (Ecuador), obtenidos mediante el software Meteonorm versión 8.2, correspondientes al periodo 2016–2021. Fuente: Meteonorm 8.2 (2016–2021). Elaboración propia.*

### 3.3.2. Temperatura promedio

La temperatura promedio anual del sitio de estudio es de 25,5 °C, lo que evidencia un clima cálido característico de la ciudad de Guayaquil. A lo largo del año, las temperaturas mensuales se mantienen relativamente constantes, con valores que oscilan entre 24,1 °C y 26,7 °C, alcanzando sus máximos entre los meses de febrero y abril, y los valores más bajos entre julio y septiembre. Estas condiciones térmicas influyen directamente en el desempeño de los módulos fotovoltaicos, ya que temperaturas elevadas pueden provocar una ligera reducción en su eficiencia eléctrica.

### 3.3.3. Velocidad del viento

La velocidad promedio anual del viento en el área de estudio es de aproximadamente 2,0 m/s, con variaciones mensuales moderadas. Los valores más bajos se presentan en los primeros meses del año, mientras que entre julio y octubre se registran las velocidades más altas, alcanzando hasta 2,9 m/s. Estas condiciones favorecen la disipación del calor en los módulos fotovoltaicos, contribuyendo a una ligera mejora en

su rendimiento térmico, además de no representar un riesgo significativo para la estabilidad estructural del sistema.

### 3.3.4. Humedad relativa

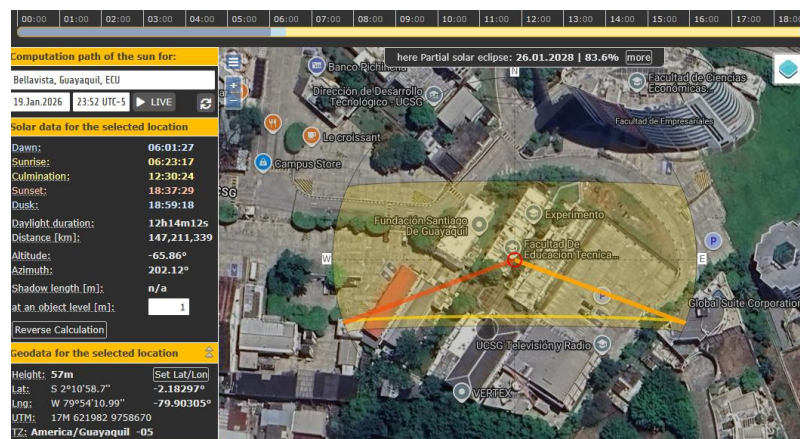
La humedad relativa promedio anual del sitio es de 70,9 %, reflejando un ambiente húmedo típico de la región costera ecuatoriana. Durante los primeros meses del año se observan los valores más elevados, superando el 75 %, mientras que hacia el final del año la humedad disminuye progresivamente, alcanzando valores cercanos al 64 % en diciembre. Este factor ambiental es relevante para el análisis del sistema fotovoltaico, ya que niveles elevados de humedad pueden influir en el ensuciamiento de los módulos y en los procesos de corrosión, aspectos que deben considerarse en el plan de mantenimiento.

### 3.3.5. Recorrido solar

Para el análisis de la orientación solar se utilizó el software SunCalc, el cual permite georreferenciar el punto de instalación y representar la trayectoria aparente del Sol a lo largo del día. De acuerdo con los resultados obtenidos, el Sol inicia su recorrido aproximadamente a las 06:25 AM, alcanza su máxima elevación alrededor de las 12:26 PM y se oculta cerca de las 18:27 PM, concentrándose las mejores condiciones de captación solar entre las 10:00 AM y las 14:00 PM horas. No se identificaron sombras significativas, ya que la instalación se realizará sobre cubiertas con separaciones uniformes entre edificaciones, lo que garantiza una adecuada exposición solar para el sistema fotovoltaico propuesto.

#### Ilustración 34

*Recorrido Solar*



*Nota: Recorrido solar en la FETD Fuente: SunCalc, 2026.*

### **3.4. Descripción del sistema de barrera vehicular**

La barrera vehicular considerada corresponde a un sistema de uso intensivo, con las siguientes características generales:

- Tipo: Barrera electromecánica
- Longitud del brazo: 3 a 4 metros
- Uso: Control de acceso vehicular universitario
- Ciclos diarios estimados: 600 – 800 ciclos/día
- Alimentación nominal: 220 V AC
- Potencia del motor: 230w
- Tiempo promedio de operación por ciclo: 12 segundos

## CAPITULO IV

### 4. Dimensionamiento de un sistema híbrido de energía solar con respaldo de baterías

#### 4.1. Generalidades

En el presente capítulo se abordará el diseño eléctrico de un sistema híbrido fotovoltaico con respaldo de baterías interconectado a la red pública, el objetivo principal del sistema es garantizar la continuidad del suministro eléctrico durante los cortes de energía, los cuales se han intensificado como consecuencia de la actual crisis energética que atraviesa el país. El objetivo del proyecto es proporcionar un sistema de respaldo energético para las garitas de control de acceso de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, de manera que puedan continuar operando y manteniendo el control del ingreso y salida de vehículos incluso ante interrupciones del suministro eléctrico.

Para ello, se desarrollarán cálculos teóricos que permitan dimensionar adecuadamente los distintos componentes del sistema, considerando los elementos de generación, almacenamiento de energía, alimentación, protección y demás aspectos eléctricos.

#### 4.2. Identificación de cargas del sistema

Para un correcto dimensionamiento, se identifican todas las cargas eléctricas asociadas al sistema.

##### 4.2.1. Consumo de la barrera vehicular

Fórmula fundamental de energía eléctrica:

$$E = P \times t$$

Donde:

E = Energía [Wh]

P = Potencia [W]

t = Tiempo [h]

- Tiempo total de operación diaria:

$$t = \frac{N \times tc}{3600}$$

N = número de ciclos = 800

$t_c$  = tiempo por ciclo = 12 s

$$t = \frac{800 \times 12}{3600} = 2.67h$$

$$E_{motor} = 230 \times 2.67 = 614Wh/dia$$

#### 4.2.2. Consumo accesorios permanentes

Además del motor de la barrera, se consideran los siguientes elementos:

**Tabla 2**

*Consumo energético diario de los componentes del sistema*

Elemento	Potencia (W)	Horas
Controlador lógico	20	24
Sensor / lazo magnético	15	
Cámara o lector de códigos QR	25	
Teletag	20	
Garita de monitoreo	180	
<b>Total</b>	260	6240 Wh/día

*Nota: La energía diaria se calcula considerando un funcionamiento continuo de 24 horas para cada elemento, usando la relación: Energía (Wh/día) = Potencia (W) × Horas de operación por día. El valor total corresponde a la suma del consumo diario de todos los componentes.*

#### 4.3. Consumo promedio diario del sistema

Para el dimensionamiento de la capacidad del sistema híbrido de respaldo, es fundamental determinar el consumo energético diario promedio de las barreras vehiculares de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil. Dicho parámetro se establece a partir del análisis de la demanda durante las horas pico.

$$E_{total} = E_{barrera} + E_{accesorios}$$

$$E_{total} = 614 + 6240$$

$$E_{total} = 6854 Wh/dia$$

- Factor de seguridad energético ( $f_s=1.06$ ):

$$E_{diseño} = E_{total} \times f_s$$

$$E_{diseño} = 6854 \times 1.06$$

$$E_{diseño} = 7265 \text{ Wh/día}$$

#### 4.4. Dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico

##### 4.4.1. Horas de irradiación pico (HSP)

Para llevar a cabo el dimensionamiento del sistema fotovoltaico es indispensable definir el valor de las Horas Sol Pico (HSP), ya que este parámetro representa el promedio diario de energía solar disponible en el sitio de instalación y permite estimar la capacidad real de generación del sistema. Para la ciudad de Guayaquil se adopta:

$$HSP = 5 \text{ h/día}$$

##### 4.4.2. Potencia requerida del generador fotovoltaico

La potencia requerida del generador fotovoltaico se determina en función de la energía total diaria consumida por la barrera vehicular y de la disponibilidad del recurso solar en el sitio de instalación, representada por las Horas Sol Pico (HSP).

La relación fundamental utilizada para este cálculo se expresa como:

$$P_{FV} = \frac{E_{total}}{HSP}$$

Donde:

- $E_{total}$  corresponde a la energía diaria demandada por la barrera vehicular (Wh/día).
- $HSP$  representa las horas sol pico promedio del sitio (h/día).
- $P_{FV}$  es la potencia mínima requerida del generador fotovoltaico (W).

Para el presente estudio se considera una demanda diaria aproximada de:

$$E_{total} = 6854 \text{ Wh/día}$$

Y un valor de:

$$HSP = 5 \text{ h/día}$$

Sustituyendo:

$$P_{FV} = \frac{6854}{5} = 1370,8 \text{ W}$$

Este valor representa la potencia teórica mínima necesaria para cubrir la demanda energética bajo condiciones ideales. Sin embargo, en aplicaciones reales es indispensable considerar pérdidas asociadas a:

- Eficiencia del inversor
- Pérdidas por temperatura en los módulos
- Suciedad y envejecimiento de los paneles
- Pérdidas en cableado y conexiones
- Variabilidad climática diaria

Por esta razón, se adopta un factor de seguridad del 30 %, ampliamente recomendado en el diseño de sistemas fotovoltaicos autónomos e híbridos para cargas críticas.

$$P_{FV,real} = 1370,8 \times 1.3 = 1782,04 \text{ W}$$

La aplicación de este margen garantiza que el sistema mantenga un desempeño adecuado incluso bajo condiciones desfavorables, reforzando la confiabilidad operativa de la barrera vehicular.

Selección con margen:

- 2000 Wp instalados

#### **4.4.3. Selección de módulos fotovoltaicos**

Una vez determinada la potencia real requerida del generador fotovoltaico, se procede a la selección del tipo y número de módulos solares. Para este proyecto se opta por módulos fotovoltaicos comerciales de alta potencia unitaria, con una capacidad nominal de:

- 550 Wp por módulo

La elección de módulos de alta potencia se fundamenta en los siguientes criterios técnicos:

- Reducción del número de módulos requeridos
- Menor complejidad del sistema
- Optimización del espacio disponible
- Disminución de pérdidas por interconexión
- Mayor facilidad de mantenimiento

El número de módulos requeridos se calcula mediante:

$$N_{paneles} = \frac{P_{FV,real,margen}}{P_{panel}}$$
$$N_{paneles} = \frac{2000}{550} \approx 3.6363$$

Dado que el número de módulos debe ser un valor entero y considerando el criterio de sobredimensionamiento adoptado, se selecciona:

- Cuatro módulos fotovoltaicos de 550 Wp por cada barrera vehicular

Esta selección permite cubrir la demanda energética con holgura, garantizando además un margen operativo ante degradación del módulo o reducción temporal de la radiación solar.

#### **4.5. Dimensionamiento del banco de baterías**

El banco de baterías cumple la función de asegurar la continuidad del servicio durante períodos sin radiación solar y ante posibles interrupciones del suministro eléctrico convencional, lo cual resulta fundamental en sistemas de control de acceso vehicular.

Para este estudio se considera un respaldo energético de 24 horas, criterio adecuado para instalaciones institucionales donde la confiabilidad es prioritaria.

##### **4.5.1. Capacidad energética requerida**

La energía que debe ser suministrada por el banco de baterías corresponde al consumo diario del sistema:

$$E_{bat} = 7265 Wh$$

Se adopta un sistema de 24 V, debido a que:

- Reduce la corriente circulante
- Disminuye pérdidas por efecto Joule
- Es compatible con inversores híbridos comerciales

Asimismo, se considera una profundidad de descarga (DoD) del 50 %, valor recomendado para baterías de plomo-ácido o AGM, con el fin de prolongar su vida útil y reducir el deterioro prematuro. La capacidad requerida se calcula como:

$$C_{Ah} = \frac{E_{bat}}{V \times DoD}$$

$$C_{Ah} = \frac{7265}{24 \times 0.5} = 605 \text{ Ah}$$

#### 4.5.2. Selección del banco de baterías

Considerando disponibilidad comercial, margen de seguridad y estandarización, se selecciona el siguiente banco:

- Ocho baterías de 12 V – 200 Ah conectadas dos en serie por cuatro en paralelo

Esta configuración proporciona:

- Tensión nominal: 24 V
- Capacidad efectiva superior a la mínima requerida
- Mayor autonomía y confiabilidad

#### 4.5.3. Versión optimizada LiFePO4 (DoD = 80%)

Buscando otras alternativas encontramos una variante de las baterías de litio conocidas por su extrema seguridad, estabilidad térmica y larga vida útil, superando los 3000 a 6000 ciclos de carga. Lo que las hace una alternativa ecológica y menos propensa siniestros.

$$C_{Ah} = \frac{E_{bat}}{V \times DoD}$$

$$C_{Ah} = \frac{7265}{24 \times 0.8} = 378.3 \text{ Ah}$$

Selección técnica recomendada:

- Banco LiFePO4 24V – 250Ah

Ventajas:

- Mayor profundidad de descarga
- Vida útil 3000–6000 ciclos
- Mayor eficiencia (>80%)
- Menor peso

## 4.6. Selección del inversor

### 4.6.1. Potencia requerida

La potencia del inversor no se dimensiona únicamente en función del consumo nominal, sino principalmente considerando los picos de arranque del motor de la barrera vehicular, los cuales pueden alcanzar valores entre 2 y 3 veces la potencia nominal.

Asumiendo una potencia nominal aproximada de:

$$P_b = 500 \text{ W}$$

La potencia pico estimada es:

$$P_{pico} \approx 3 \times 500 = 1500 \text{ W}$$

Aplicando un margen de seguridad adicional ( $fp = 1.5$ ), se selecciona:

$$P_{inv} = P_{pico} \times fp$$

$$P_{inv} = 1500 \times 1.5$$

$$P_{inv} = 2250 \text{ W}$$

Selección comercial:

- Inversor 2500 W onda pura
- 24V / 220V

### 4.6.2. Selección de inversor

Para el sistema híbrido fotovoltaico propuesto, y en función de la potencia requerida por la barrera vehicular, se selecciona un inversor híbrido de 2.5 kW, con las siguientes características:

- Entrada fotovoltaica directa
- Conexión a red eléctrica
- Salida 220 V AC
- Cargador de baterías integrado
- Conmutación automática entre fuentes

Este tipo de inversor resulta ideal para aplicaciones híbridas, ya que garantiza continuidad operativa sin intervención manual.

#### 4.7. Regulador de carga

El regulador de carga es responsable de controlar la energía proveniente del módulo fotovoltaico hacia el banco de baterías, evitando sobrecargas y maximizando la eficiencia del sistema. La corriente generada por el panel se calcula como:

$$I = \frac{P_{panel}}{V}$$
$$I = \frac{2000}{24} = 83.3 \text{ A}$$

Aplicando un factor de seguridad IEC (1.25) para condiciones reales de operación, se selecciona un regulador con capacidad superior:

$$I = 83.3 \times 1.25$$

$$I = 124.9 \text{ A}$$

- Regulador MPPT de  $\geq 150 \text{ A} / 24 \text{ V}$

La tecnología MPPT permite aprovechar de forma óptima la energía solar, especialmente en condiciones variables de irradiación.

Verificación tensión entrada:

- Voc panel  $\approx 24 \text{ V}$
- 4 en serie  $\rightarrow 96 \text{ V}$
- MPPT recomendado 150 Vdc

#### 4.8. Cálculo de caída de tensión

Con el objetivo de verificar que el conductor seleccionado garantiza un funcionamiento eficiente del sistema, se realizó el cálculo de la caída de tensión en el tramo comprendido entre la batería y el inversor. Este análisis permite comprobar que las pérdidas por efecto resistivo se mantienen dentro de los límites recomendados para instalaciones en corriente continua.

Para el cálculo se empleó la expresión general de caída de tensión en corriente continua:

$$\Delta v = \frac{2 \times L \times I \times \rho}{S}$$

Donde:

$\Delta V$  = caída de tensión [V]

$L$  = longitud del conductor [m]

$I$  = corriente [A]

$\rho$  = resistividad cobre (0.0178 W·mm<sup>2</sup>/m)

$S$  = sección del conductor [mm<sup>2</sup>]

El factor 2 se considera debido a que la corriente recorre tanto el conductor de ida como el de retorno, por lo que la longitud eléctrica efectiva es el doble de la distancia física.

Datos del tramo batería–inversor:

- Longitud del conductor: 5 m
- Potencia del inversor: 2000 W
- Tensión del sistema: 24 V

Corriente calculada:

$$I = \frac{2000 \text{ W}}{24 \text{ V}}$$

$$I = 83.3 \text{ A}$$

- Sección del conductor seleccionada: 35 mm<sup>2</sup>

Sustituyendo los valores en la ecuación:

$$\Delta v = \frac{2 \times 5 \times 83.3 \times 0.0178}{35}$$

$$\Delta v = 0.423 \text{ V}$$

#### 4.8.1. Cálculo del porcentaje de caída de tensión

Para evaluar si el valor obtenido es admisible, se determina el porcentaje de caída respecto a la tensión nominal del sistema:

$$\% \Delta v = \frac{\Delta v}{v} \times 100$$

$$\% \Delta v = \frac{0.423}{24} \times 100$$

$$\% \Delta v = 1.76\%$$

El valor obtenido (1.32 %) se encuentra por debajo del límite comúnmente recomendado del 3 % para circuitos en corriente continua, especialmente en sistemas de baja tensión como instalaciones fotovoltaicas o sistemas de respaldo con baterías.

Por lo tanto, la sección de 35 mm<sup>2</sup> resulta adecuada para el tramo batería–inversor, ya que garantiza pérdidas reducidas, menor calentamiento del conductor y un funcionamiento eficiente del sistema.

#### **4.9. Corriente de cortocircuito y protecciones según IEC**

Con el propósito de garantizar la seguridad eléctrica del sistema y el cumplimiento de la normativa internacional aplicable, se realizó el análisis de la corriente de cortocircuito del sistema fotovoltaico y la apropiada selección de dispositivos de protección.

##### **4.9.1. Determinación de la corriente de cortocircuito del sistema fotovoltaico**

Cada módulo fotovoltaico presenta una corriente de cortocircuito ( $I_{sc}$ ) aproximada de 11 A. Dado que el sistema está configurado con dos strings conectados en paralelo, la corriente total de cortocircuito se obtiene sumando las corrientes de cada rama:

$$I_{sc\_total} = 11 \times 2$$

$$I_{sc\_total} = 22 \text{ A}$$

De acuerdo con los criterios establecidos en normativa IEC para sistemas fotovoltaicos, se aplica un factor de seguridad de 1.25 para considerar posibles incrementos de corriente bajo condiciones de irradiancia elevada o tolerancias de fabricación:

$$I_{protección} = 22 \times 1.25$$

$$I_{protección} = 27.5 \text{ A}$$

En función de este valor, se selecciona un fusible tipo *gPV* de 32 A, el cual cumple con las características específicas para protección de instalaciones fotovoltaicas en corriente continua. Esta elección garantiza que el dispositivo soporte la corriente nominal de operación sin disparos intempestivos y actúe adecuadamente ante condiciones de falla.

#### 4.9.2. Protección en el tramo batería–inversor

Para la protección del circuito en corriente continua entre la batería y el inversor, se parte de la corriente nominal del inversor:

$$I_{inv} = \frac{P}{V}$$
$$I_{inv} = \frac{2000 \text{ W}}{24 \text{ V}}$$
$$I_{inv} = 83.3 \text{ A}$$

Aplicando igualmente el factor de seguridad de 1.25 recomendado en criterios de diseño:

$$I_{protección} = 83.3 \times 1.25$$
$$I_{protección} = 104.125 \text{ A}$$

Con base en este resultado, se selecciona un interruptor automático (breaker) en corriente continua de 100 A. Este valor comercial normalizado proporciona un margen adecuado frente a sobrecorrientes, permitiendo la operación normal del sistema y asegurando la desconexión ante condiciones anómalas.

##### 4.9.2.1. Marco normativo

La selección de protecciones se fundamenta en los lineamientos establecidos en:

- IEC 60364 – Instalaciones eléctricas de baja tensión
- IEC 62548 – Requisitos de diseño e instalación de sistemas fotovoltaicos
- IEC 60947-2 – Interruptores automáticos

El cumplimiento de estas normas garantiza que el sistema opere dentro de parámetros de seguridad, confiabilidad y protección adecuados frente a sobre corrientes y cortocircuitos.

#### 4.10. Inclinación óptima y plano estructural

La determinación del ángulo de inclinación de los módulos fotovoltaicos es un aspecto fundamental en el diseño del sistema, ya que influye directamente en la captación de radiación solar y, por tanto, en el rendimiento energético anual.

##### 4.10.1. Determinación del ángulo óptimo

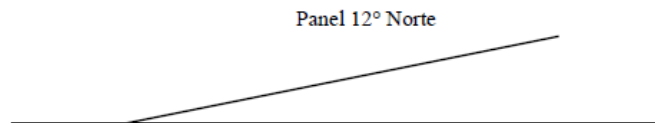
El proyecto se ubica en la ciudad de Guayaquil, cuya latitud es aproximadamente 2° Sur. Desde el punto de vista ingenieril, una regla práctica ampliamente utilizada establece que el ángulo de inclinación óptimo anual de los módulos es aproximadamente igual al valor de la latitud del lugar de instalación.

Sin embargo, debido a que la latitud es muy cercana al ecuador, una inclinación tan baja podría dificultar el drenaje del agua de lluvia y favorecer la acumulación de suciedad sobre la superficie del panel, reduciendo su eficiencia con el tiempo.

Por esta razón, se adopta una inclinación estructural de 12° orientada hacia el norte geográfico. Esta decisión no solo mantiene un buen nivel de captación solar a lo largo del año, sino que también mejora las condiciones de autolimpieza y evacuación de agua, contribuyendo a la durabilidad y al mantenimiento reducido del sistema.

##### *Ilustración 35*

*Cálculo de la inclinación y altura estructural del sistema.*



*Nota: La figura representa la inclinación del panel. Fuente Elaboración propia.*

##### 4.10.2. Cálculo de la altura estructural

Para determinar la diferencia de altura necesaria en la estructura de soporte, se emplea la relación trigonométrica:

$$h = L \times \sin \theta$$

donde:

- $h$  es la altura posterior de la estructura
- $L$  es la longitud del panel

- $\theta$  es el ángulo de inclinación adoptado

Considerando una longitud de panel de 2 m y una inclinación de 12°:

$$h = 2 \times \sin(12^\circ)$$

$$h = 2 \times 0.207$$

$$h = 0.414 \text{ m}$$

Por lo tanto, la altura posterior requerida en la estructura de soporte es aproximadamente 0.41 m (41 cm).

#### **4.10.3. Justificación técnica**

La inclinación seleccionada representa un compromiso entre optimización energética, condiciones climáticas locales y criterios constructivos. Además de asegurar un desempeño adecuado durante todo el año, facilita el drenaje pluvial y disminuye la acumulación de polvo, factores especialmente relevantes en climas tropicales como el de Guayaquil.

### **4.11. Dimensionamiento del sistema en el software PVSyst**

#### **4.11.1. Antecedentes**

Una vez finalizado el cálculo teórico, se busca comparar los resultados obtenidos utilizando el software de simulación PVSyst, con el fin de comprobar el adecuado funcionamiento del sistema.

#### **4.11.2. Desarrollo de simulación en software PVSyst**

Se presenta la simulación y el análisis del sistema fotovoltaico propuesto para las garitas de acceso de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil (UCSG), planteado como sistema de respaldo energético ante cortes del suministro eléctrico, con el objetivo de garantizar la continuidad operativa y el correcto funcionamiento de los equipos instalados en estos puntos de control.

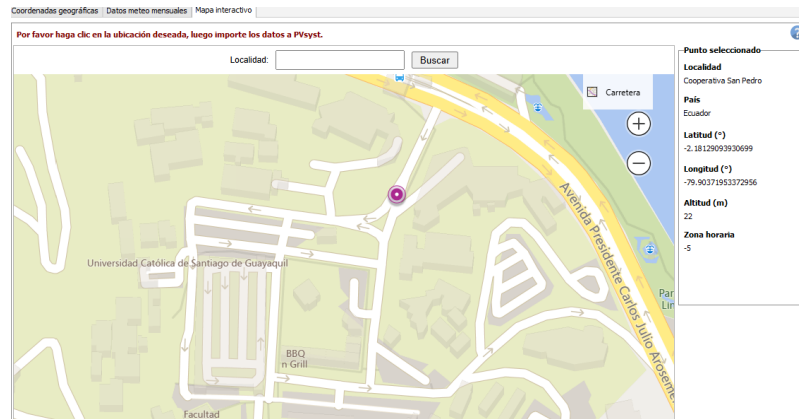
#### **4.11.3. Selección de ubicación del Proyecto**

La localización geográfica del sistema fotovoltaico es un factor determinante para su rendimiento. El software de simulación requiere el ingreso de datos como la ubicación del proyecto, su denominación y las características de la red eléctrica. El proyecto se encuentra en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, situada en la ciudad de

Guayaquil, Ecuador. Las coordenadas son: latitud  $-2.18^{\circ}$  Sur, longitud  $-79.90^{\circ}$  Oeste, con una altitud aproximada de 17 metros sobre el nivel del mar y correspondiente a la zona horaria UTC-5.

### **Ilustración 36**

*Ubicación del proyecto*



*Nota: Ubicación del proyecto UCSG. Fuente: PVSyst, 2026.*

#### **4.11.4. Condiciones Climáticas y Datos Meteorológicos**

El desempeño del sistema fotovoltaico está directamente influenciado por las condiciones climáticas del sitio de instalación. Para el análisis del proyecto se emplearon datos meteorológicos obtenidos del software Meteonorm 8.0 (periodo 2016–2021), correspondientes a la zona de estudio donde se ubican las garitas de acceso de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, en Guayaquil, Ecuador.

En base a los datos obtenidos en la simulación, se obtuvieron valores promedio anuales que permiten comprender mejor las condiciones del sitio, se registró una irradiación horizontal global de  $4.14 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$  y una irradiación difusa horizontal de  $2.54 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$ . La temperatura ambiente promedio fue de  $25.5^{\circ}\text{C}$  y la velocidad media del viento alcanzó los  $2 \text{ m/s}$ .

En el sistema fotovoltaico propuesto estos datos son fundamentales, ya que permiten analizar con mayor precisión cómo se comportará el sistema fotovoltaico, especialmente considerando que su función principal será servir como respaldo ante posibles cortes del suministro eléctrico.

### Ilustración 37

#### Irradiación anual promedio de la UCSG

Sito <b>Cooperativa San Pedro (Ecuador)</b>						
Fuente de datos <b>Cooperativa San Pedro_MN82.SIT -- Meteorom 8.2 (2016-2021), Sat=100%</b>						
	<b>Irradiación horizontal global</b>	<b>Irradiación difusa horizontal</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Velocidad del viento</b>	<b>Turbidez Linke</b>	<b>Humedad relativa</b>
	<b>kWh/m<sup>2</sup>/mes</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup>/mes</b>	<b>°C</b>	<b>m/s</b>	<b>[ ]</b>	<b>%</b>
Enero	144.3	80.2	26.6	1.29	4.355	70.9
Febrero	128.9	76.9	26.5	1.00	4.180	76.7
Marzo	158.4	90.8	27.0	1.09	4.236	74.5
Abril	155.9	81.9	26.7	1.20	4.691	74.8
Mayo	140.2	72.5	26.4	1.49	4.619	72.2
Junio	120.9	72.0	24.8	2.10	4.149	73.6
Julio	118.6	75.6	24.5	2.39	3.929	71.6
Agosto	118.9	74.9	24.1	2.80	4.152	71.0
Septiembre	119.6	74.2	24.1	2.90	4.680	70.5
Octubre	111.4	70.3	24.5	2.79	4.860	69.2
Noviembre	114.3	76.4	24.7	2.70	4.995	68.8
Diciembre	136.7	86.2	26.6	2.20	5.264	64.3
<b>Año</b>	<b>1568.1</b>	<b>931.9</b>	<b>25.5</b>	<b>2.0</b>	<b>4.509</b>	<b>71.5</b>

**Irradiación horizontal global variabilidad año a año 6.8%**

Nota: Datos de irradiación solar correspondientes a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Fuente: PVSyst, 2026.

Para realizar la simulación del sistema es necesario definir algunos parámetros del campo fotovoltaico, entre ellos el ángulo de inclinación de los módulos. En el caso del sistema propuesto para las garitas de acceso de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, se estableció un azimut de 0°, lo que indica que los paneles estarán orientados hacia el norte geográfico.

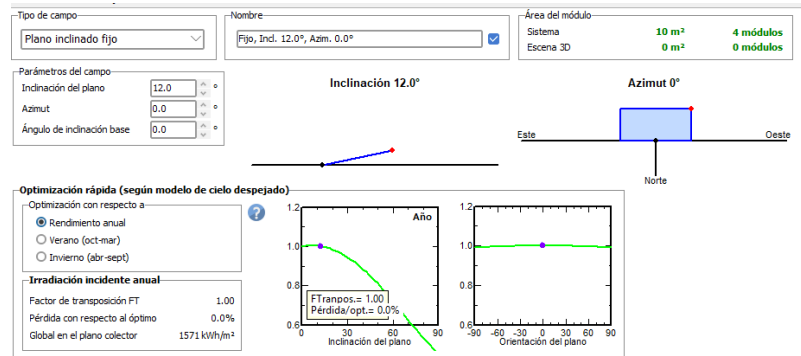
Esta orientación permite optimizar el aprovechamiento de la radiación solar disponible en la zona y mejorar el rendimiento del sistema. Bajo estas condiciones, el software determina que la inclinación óptima del plano es de 12°, con el fin de minimizar pérdidas por desajuste angular y maximizar la captación de energía solar.

En la Ilustración 38 se presenta la configuración del plano inclinado y su respectiva orientación. En este análisis se emplea una estructura de plano inclinado fijo, sin considerar ajustes estacionales (invierno o verano), por lo que el sistema mantiene una inclinación constante durante todo el año.

Asimismo, la simulación indica que la irradiación global anual incidente en el plano del generador alcanza aproximadamente 1571 kWh/m<sup>2</sup>. En esta etapa no se contempla la separación entre módulos, ya que se asume que serán instalados sobre una superficie con inclinación de 12°, correspondiente a la estructura definida para el proyecto.

### Ilustración 38

#### Azimuth



Nota: *Inclinación Azimut.* Fuente: PVSystem, 2026.

Posteriormente, el software solicita definir la potencia instalada o el área disponible para la instalación de los módulos. Para el caso del sistema propuesto en las garitas de acceso de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, se configuró una potencia nominal de 2.20 kWp, tal como se observa en la Imagen 38.

El generador fotovoltaico está conformado por 4 módulos de 550 Wp cada uno, modelo LR5-72HPH-550M G2 (según la base de datos de PVSystem), conectados en una sola cadena de 4 módulos en serie, alcanzando una potencia total de 2200 Wp en condiciones estándar (STC). Los módulos fotovoltaicos ocupan una superficie aproximada de 10,3 m<sup>2</sup>, de los cuales cerca de 9,5 m<sup>2</sup> corresponden al área efectiva destinada a la captación de radiación solar.

Para el sistema se seleccionó un inversor con potencia nominal de 2,0 kW, configurado para operar dentro de un rango de tensión entre 80 y 600 V. Con esta configuración se obtiene una relación DC/AC de 2,20, lo que favorece el aprovechamiento de la energía producida por los módulos fotovoltaicos. De esta manera, el sistema puede cubrir la demanda energética de las garitas y proporcionar un respaldo confiable en caso de interrupciones en el suministro eléctrico.

### Ilustración 39

#### Características del conjunto Fotovoltaico

PV Array Characteristics			
<b>PV module</b>		<b>Inverter</b>	
Manufacturer	Generic	Manufacturer	Generic
Model	LR5-72HPH-550M G2	Model	SUN2000-2KTL-L1
(Original PVsyst database)		(Original PVsyst database)	
Unit Nom. Power	550 Wp	Unit Nom. Power	2.00 kWac
Number of PV modules	4 units	Number of inverters	1 * MPPT 50% 0.5 unit
Nominal (STC)	2200 Wp	Total power	1.0 kWac
Modules	1 strings x 4 In series	Operating voltage	80-600 V
<b>At operating cond. (50°C)</b>		Pnom ratio (DC:AC)	2.20
Pmpp	2015 Wp	<b>Total inverter power</b>	
U mpp	151 V	Total power	1 kWac
I mpp	13 A	Nb. of inverters	1 unit
<b>Total PV power</b>			0.5 unused
Nominal (STC)	2.20 kWp	Pnom ratio	2.20
Total	4 modules		
Module area	10.3 m <sup>2</sup>		
Cell area	9.5 m <sup>2</sup>		

Nota: Características del módulo fotovoltaico e inversor Fuente: PVsyst, 2026.

#### 4.11.5. Configuración del Sistema Fotovoltaico

El sistema fotovoltaico propuesto para las garitas de acceso de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil está diseñado como sistema de respaldo ante cortes del suministro eléctrico, garantizando la continuidad operativa de los equipos instalados.

Las principales características del sistema son:

- Potencia Total del Sistema: 2.20 kWp
- Número de Módulos: 4 unidades
- Configuración eléctrica: 1 cadena de 4 módulos en serie
- Orientación:
  - Tipo de instalación: Plano fijo
  - Inclinación: 12°
  - Azimut: 0° (orientación norte)
- Inversor:
  - Número de unidades: 1
  - Potencia nominal total: 2.0 kWca
  - Relación DC/AC: 2.20

#### 4.11.6. Componentes del sistema

El módulo de referencia se detalla a continuación:

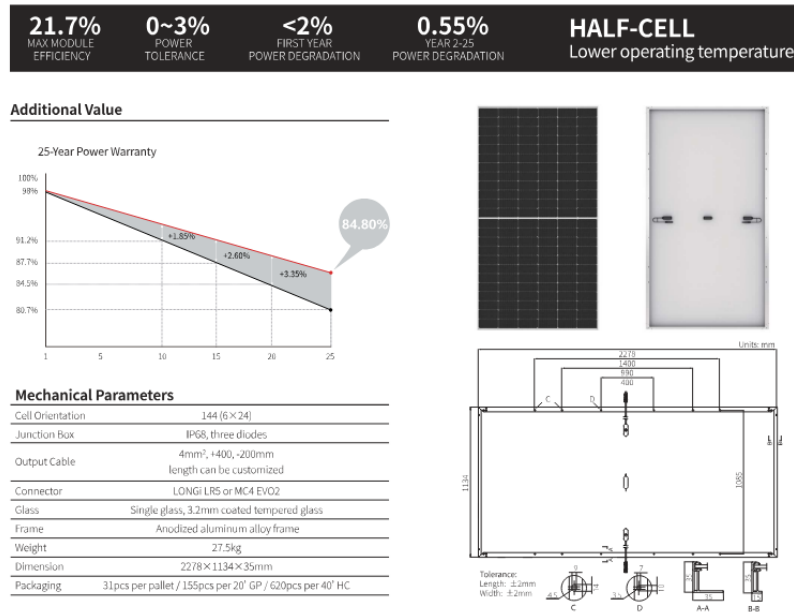
- Módulos FV:
  - Fabricante: LONGi Solar
  - Modelo: LR5-72HPH-550M G2
  - Potencia nominal por módulo: 550 Wp

Número de módulos en serie: 1 cadena x 4 módulos

- Potencia total instalada: 2200 Wp
- Área total ocupada: 10.3 m<sup>2</sup>
- Área efectiva de captación: 9.5 m<sup>2</sup>

**Ilustración 40**

Ficha tecnica LR5-72HPH-550M G2

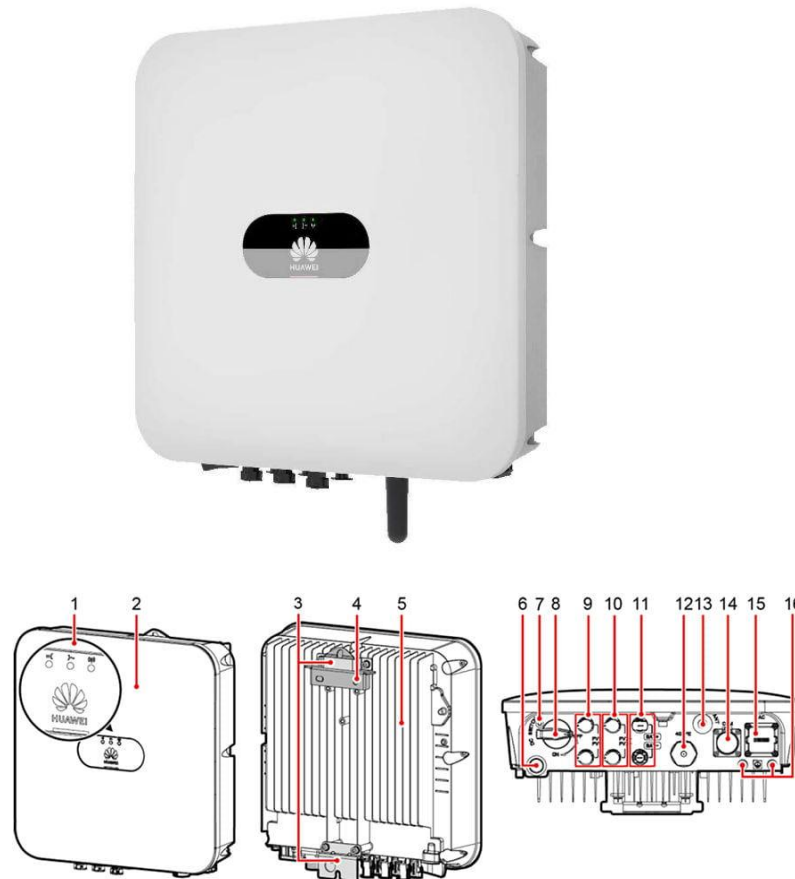


*Nota: Parámetros mecánicos del panel solar. Fuente: Autosolar, 2026.*

- Inversor:
  - Fabricante: Huawei
  - Modelo: SUN2000-2KTL-L1
  - Potencia nominal por inversor: 2.0 kWca
  - Voltaje de funcionamiento: 80 – 600 V

**Ilustración 41**

*Inversor Huawei SUN2000-2KTL-L1*



*Nota: Modelo de inversor 2.5 kWca. Fuente: Rising Sun, 2026.*

- **Descripción del Inversor**

El inversor seleccionado pertenece a la línea residencial/comercial de pequeña potencia de Huawei. Está diseñado para sistemas fotovoltaicos conectados a red y ofrece alta eficiencia de conversión energética.

Entre sus principales características se destacan:

- **Compatibilidad de Voltaje:**

Opera en un rango de entrada de 80 a 600 V en corriente continua.

- **Sistema de Protección Integrado:**

Incorpora protecciones eléctricas internas que garantizan seguridad y confiabilidad.

- Monitoreo y Control:

Permite supervisión del sistema mediante plataforma digital.

- Diseño Compacto:

Equipo ligero y de fácil instalación, ideal para aplicaciones de pequeña escala.

Este inversor permite transformar la energía generada en corriente continua (DC) por los módulos fotovoltaicos en corriente alterna (AC), asegurando el suministro eléctrico de respaldo para las garitas de acceso ante cortes del servicio eléctrico.

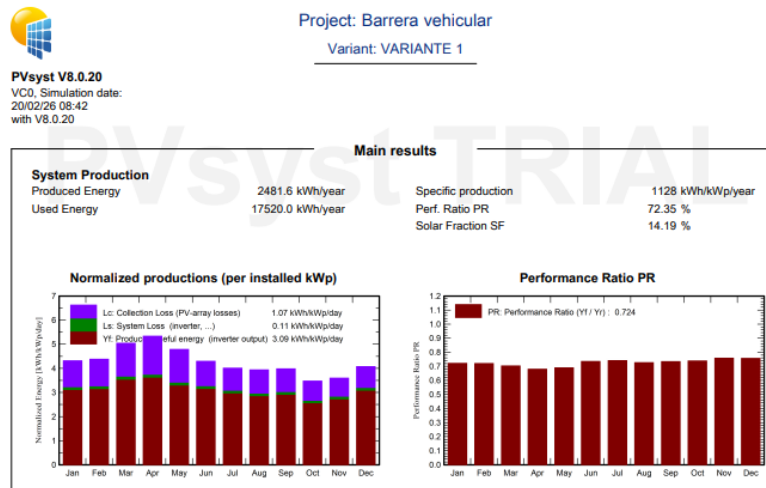
#### 4.12. Resultados de la simulación

El análisis fue realizado mediante el software PVsyst. A continuación, se presentan los principales resultados obtenidos en la simulación:

- Energía producida anualmente: 2482 kWh
- Producción específica: 1128 kWh/kWp/año
- Proporción de rendimiento (PR): 72.40%

#### Ilustración 42

Simulación PVsyst



Nota: Gráficos de producciones normales y proporción de rendimiento Fuente: PVsyst, 2026.

#### Producción de energía mensual:

- **Enero:** 221 kWh
- **Febrero:** 202 kWh
- **Marzo:** 251 kWh

- **Abril:** 248 kWh
- **Mayo:** 234 kWh
- **Junio:** 216 kWh
- **Julio:** 211 kWh
- **Agosto:** 203 kWh
- **Septiembre:** 200 kWh
- **Octubre:** 183 kWh
- **Noviembre:** 188 kWh
- **Diciembre:** 219 kWh

**Ilustración 43**

*Balances y resultados principales*

**Balances and main results**

	GlobHor kWh/m <sup>2</sup>	DiffHor kWh/m <sup>2</sup>	T_Amb °C	GlobInc kWh/m <sup>2</sup>	GlobEff kWh/m <sup>2</sup>	EArray kWh	E_User kWh	E_Solar kWh	E_Grid kWh	EFrGrid kWh
<b>January</b>	144.3	80.19	26.61	133.9	130.5	221	1488	213	-0.4	1275
<b>February</b>	128.9	76.93	26.45	122.7	119.9	202	1344	195	-0.4	1149
<b>March</b>	158.4	90.83	27.01	156.5	153.3	251	1488	243	-0.4	1245
<b>April</b>	155.9	81.92	26.67	160.1	157.3	248	1440	240	-0.4	1200
<b>May</b>	140.2	72.45	26.42	148.4	145.7	234	1488	226	-0.4	1262
<b>June</b>	120.9	71.97	24.80	128.9	126.3	216	1440	209	-0.4	1231
<b>July</b>	118.6	75.64	24.45	124.5	122.0	211	1488	204	-0.4	1284
<b>August</b>	118.9	74.89	24.11	122.2	119.7	203	1488	196	-0.4	1292
<b>September</b>	119.6	74.20	24.14	119.4	116.8	200	1440	193	-0.4	1247
<b>October</b>	111.4	70.32	24.50	107.8	105.2	183	1488	176	-0.4	1312
<b>November</b>	114.3	76.38	24.67	107.9	105.1	188	1440	181	-0.4	1259
<b>December</b>	136.7	86.24	26.55	126.5	123.0	219	1488	211	-0.4	1277
<b>Year</b>	1568.2	931.95	25.53	1559.0	1524.9	2574	17520	2486	-4.6	15034

**Legends**

GlobHor	Global horizontal irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
DiffHor	Horizontal diffuse irradiation	E_User	Energy supplied to the user
T_Amb	Ambient Temperature	E_Solar	Energy from the sun
GlobInc	Global incident in coll. plane	E_Grid	Energy injected into grid
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	EFrGrid	Energy from the grid

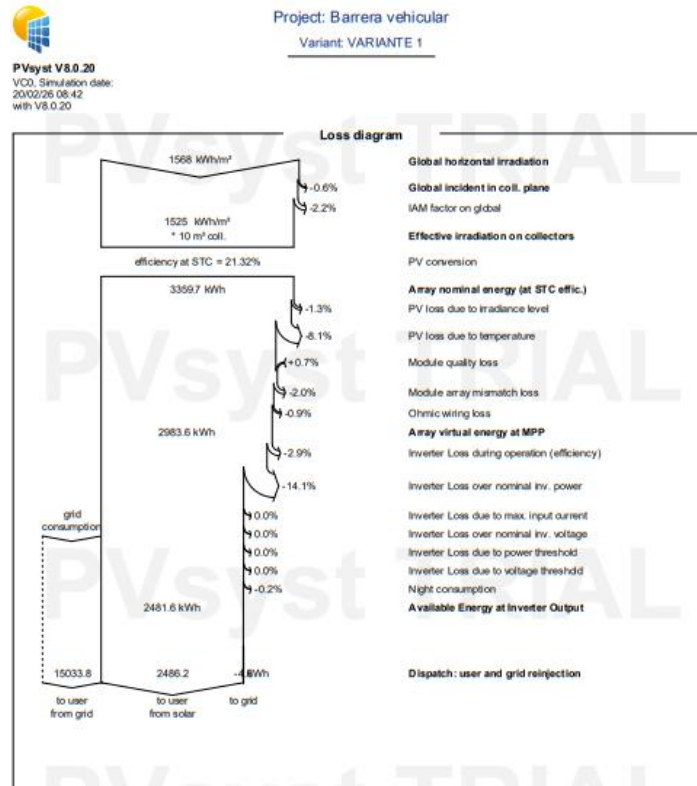
*Nota: Balances y resultados principales de la simulación. Fuente PVSystem, 2026.*

La figura presenta los resultados más relevantes obtenidos en la simulación, donde se determina que la producción anual de energía del sistema fotovoltaico alcanza un total de 2486 kWh por año.

## 4.13. Análisis de Pérdidas del Sistema

### Ilustración 44

Diagrama de perdida



Nota: Diagrama de pérdidas del sistema fotovoltaico Fuente: PVsyst, 2026.

Las pérdidas del sistema tienen un impacto significativo en el rendimiento y en la producción energética del sistema fotovoltaico. Del análisis efectuado se determinaron las siguientes pérdidas:

- Pérdida debido al nivel de irradiancia: 1.3%
- Pérdida debido a la temperatura: 8.1%
- Pérdida de calidad del módulo: 0.7%
- Pérdidas por desajuste de módulos y cadenas: 2.0%
- Pérdidas óhmicas del cableado: 0.9%
- Pérdidas del inversor: 2.9%

### 4.13.1. Diagrama de Pérdidas

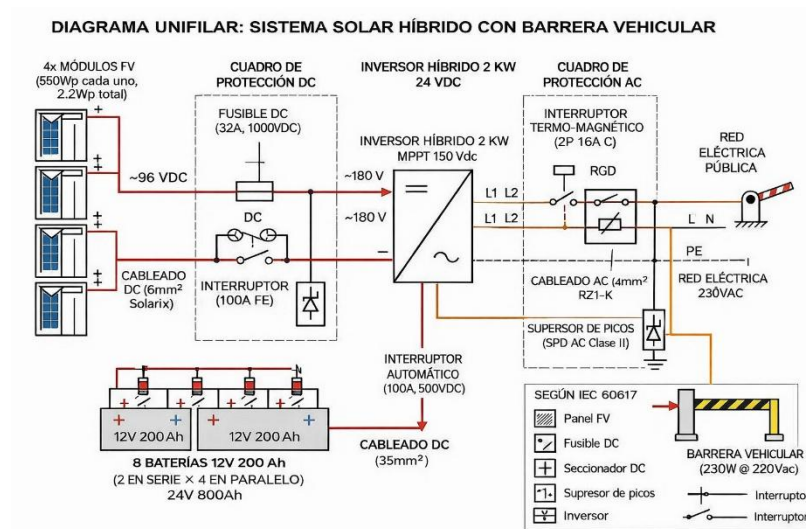
El diagrama de pérdidas del sistema es el siguiente:

- Irradiación horizontal global: 1568 kWh/m<sup>2</sup>
- Factor IAM en global: -2.2%
- Irradiancia efectiva en colectores: 1525 kWh/m<sup>2</sup>
- Conversión FV (eficiencia STC): 21.32%
- Energía nominal del conjunto: 3359.7 kWh
- Pérdida debido al nivel de irradiancia: -1.3%
- Pérdida debido a la temperatura: -8.1%
- Pérdida de calidad del módulo: +0.7%
- Pérdidas de desajuste: -2.0%
- Pérdida óhmica del cableado: -0.9%
- Energía virtual del conjunto en MPP: 2983.6 kWh
- Pérdidas del inversor: -2.9%
- Energía disponible en la salida del inversor: 2481.6 kWh
- Energía inyectada en la red: 2481.6 kWh

#### 4.14. Diagrama unifilar

*Ilustración 45*

*Diagrama unifilar propuesto*



*Nota: Diagrama unifilar de sistema fotovoltaico propuesto. Fuente: Autor.*

## CAPITULO V

### 5. Estudio técnico económico

#### 5.1. Generalidades

El análisis técnico-económico del sistema híbrido de respaldo propuesto tiene como finalidad evaluar su desempeño, viabilidad y conveniencia para el suministro eléctrico de las garitas de control de acceso de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Dicho sistema integra generación solar fotovoltaica, almacenamiento en baterías y la red eléctrica convencional, permitiendo garantizar la continuidad del servicio en cargas críticas. Este estudio considera parámetros técnicos como confiabilidad, eficiencia y calidad de energía, así como criterios económicos relacionados con la inversión, costos de operación y beneficios a mediano y largo plazo.

#### 5.2. Beneficios del sistema

El sistema híbrido de respaldo basado en energía solar fotovoltaica presenta una serie de beneficios relevantes para su aplicación en las garitas de la UCSG, los cuales se detallan a continuación:

- Impacto ambiental reducido
- Optimización del consumo energético
- Mayor confiabilidad del suministro eléctrico
- Flexibilidad operativa del sistema
- Escalabilidad e integración futura

El diseño del sistema híbrido permite la incorporación de futuras ampliaciones, como mayor capacidad de generación fotovoltaica o almacenamiento energético, así como la posible integración de otras fuentes renovables, garantizando su adaptabilidad a nuevas necesidades energéticas de la institución.

#### 5.3. Presupuesto eléctrico referencial

En el presente apartado se establece un presupuesto eléctrico referencial correspondiente al diseño e implementación de un sistema híbrido de respaldo basado en energía solar fotovoltaica, destinado a garantizar el suministro eléctrico continuo de las garitas de control de acceso de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

El presupuesto contempla los principales rubros asociados a los equipos, materiales, mano de obra y actividades técnicas necesarias para la correcta operación del sistema, considerando criterios de calidad, seguridad eléctrica y normativa vigente.

El sistema propuesto contiene componentes esenciales como los módulos fotovoltaicos, el inversor híbrido, el sistema de almacenamiento en baterías, las estructuras de soporte, las protecciones eléctricas en corriente continua y alterna, el cableado especializado y los dispositivos de monitoreo para su correcto funcionamiento, también se incluyen los costos asociados a la instalación, configuración, pruebas y puesta en marcha, garantizando así una adecuada integración con la red eléctrica existente.

Desde el punto de vista económico, el proyecto plantea la incorporación de un sistema basado en energías renovables con el propósito de reducir gradualmente la dependencia de la red eléctrica convencional. Esta alternativa no solo permite optimizar el uso de los recursos energéticos, sino también disminuir los costos asociados a soluciones de respaldo tradicionales y a los efectos operativos que provocan las interrupciones del suministro eléctrico.

El presupuesto referencial desarrollado funciona como una herramienta para el análisis técnico–económico del proyecto, ya que permite estimar los costos de los componentes, evaluar la inversión necesaria y determinar la viabilidad de implementar el sistema dentro del contexto de la institución.

**Tabla 3**

*Presupuesto económico del sistema solar con respaldo de baterías para las garitas de control de acceso de la UCSG.*

<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANT.</b>	<b>U.</b>	<b>P. UNITARIO</b>	<b>P. TOTAL (no incluye IVA)</b>
1	Panel solar Monocristalino 550W	4	U.	\$ 145,5	\$ 582,00
2	Inversor Híbrido 2500 Wh 24V/220V	1	U.	\$ 677,00	\$ 677,00
3	Estructura metálica galvanizada a 12° incluye: - Riel aluminio 6mts (10 u) - Anclaje (20 u) - Grapa final (30 u) - Grapa media (35 u) - Grapa puesta a tierra (10 u)	1	U.	\$ 375,00	\$ 375,00
4	Cable solar 6 mm <sup>2</sup> + conectores MC4	1	U.	\$ 103,50	\$ 103,50
5	Regulador MPPT 60 <sup>a</sup> / 150Vdc	1	U.	\$ 368,00	\$ 368,00
6	Protecciones DC (fusible gPV, breaker 100A, caja combinadora)	1	U	\$ 276,00	\$ 276,00
7	Banco de batería incluye: - Baterías 12V - 250AH - Rack metálico para baterías - Cableado 2x10 AWG interconexión con el inversor híbrido y chicote para batería	1	U.	\$ 1.437,50	\$ 1.437,50
8	Mano de obra incluye: - Montaje de paneles y Soportería - Montaje de inversor - Instalación de acometidas	1	U.	\$ 517,50	\$ 517,50
9	- Sistema puesta a tierra	1	U.	\$ 103,50	\$ 103,50
<b>TOTAL</b>					\$ 4.440,00
<b>IVA 15%</b>					\$ 5.106,00

*Nota: Este presupuesto es referente a un acceso vehicular, el campus de la UCSG cuenta con tres controles de acceso por cada entrada (2) y dos en la salida del campus.*

La Tabla 3 presenta el detalle del costo referencial eléctrico para la implementación del sistema híbrido fotovoltaico con respaldo de baterías destinado a las garitas de control de acceso de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil.

Al analizar el presupuesto, se puede notar que el rubro más representativo corresponde al banco de baterías LiFePO<sub>4</sub> de 24V – 250Ah, con un valor de \$1.653,13. Este componente tiene la mayor incidencia económica debido a su tecnología avanzada, su mayor profundidad de descarga y su larga vida útil, que puede alcanzar entre 3000 y 6000 ciclos.

En segundo lugar, se encuentran el inversor híbrido de 2500 W 24V/220V, con un costo de \$778,55, y los módulos fotovoltaicos monocristalinos de 550 Wp, cuyo valor total por sistema es de \$669,30. Estos equipos destacan con su valor ya que permiten la generación y conversión eficiente de la energía.

El costo de mano de obra contempla actividades como el montaje de la estructura de soporte, la instalación de los módulos fotovoltaicos, el conexionado eléctrico del sistema y la implementación del sistema de puesta a tierra. Estas tareas representan un valor estimado de \$595,13 por cada sistema, monto que considera una instalación realizada conforme a criterios técnicos y a las disposiciones de seguridad eléctrica establecidas en la normativa IEC, el costo total por sistema alcanza los \$5.106,00 (incluido IVA). Esta inversión incluye tanto la adquisición de los equipos como los trabajos necesarios para su correcta instalación, verificación y puesta en funcionamiento dentro del sistema propuesto.

Este valor representa una inversión estratégica institucional, que garantiza la continuidad operativa ante cortes de energía. Si bien la inversión inicial es considerable, el proyecto se enmarca dentro de una planificación de mediano y largo plazo lo que prioriza confiabilidad, autonomía energética y sostenibilidad.

#### **5.4. Tiempo de Ejecución del Proyecto**

El cronograma del proyecto contempla 20 días destinados a la adquisición de los equipos, así como a la logística y coordinación administrativa necesarias para su correcta ejecución.

Posteriormente, se han previsto 3 días para la fabricación y el montaje de las estructuras metálicas que soportarán los módulos fotovoltaicos. La instalación de los paneles en los 9 puntos de control se realizará en un período de 4 días, se destinarán 2 días para la instalación y el conexionado de los inversores y los bancos de baterías, asegurando que todo el sistema quede correctamente integrado. Finalmente, se considera 1 día

adicional para realizar pruebas técnicas, verificar las protecciones eléctricas y efectuar la puesta en marcha del sistema.

Este cronograma permite una ejecución organizada, segura y eficiente lo que reduce al mínimo cualquier posible afectación en la operatividad de las garitas de control.

### **5.5. Ventajas Técnicas del Sistema Propuesto**

- Generación de energía limpia mediante radiación solar.
- Sistema híbrido con conmutación automática ante fallas de red.
- Respaldo energético de 24 horas mediante banco de baterías.
- Alta eficiencia gracias a regulador MPPT.
- Reducción de pérdidas por caída de tensión (1.32%).
- Cumplimiento de normativa IEC 60364, IEC 62548 e IEC 60947-2.
- Vida útil estimada superior a 25 años para los módulos fotovoltaicos.
- Sistema modular escalable para futuras ampliaciones.

### **5.6. Beneficios Económicos**

El sistema no está diseñado principalmente para venta de excedentes, sino para garantizar continuidad operativa y reducción parcial del consumo energético en las garitas. Al cubrir una demanda diaria aproximada de 2700 Wh por sistema, se reduce significativamente la energía demandada desde la red eléctrica durante el día.

Entre los beneficios económicos se destacan:

- Reducción del consumo eléctrico en horas solares.
- Eliminación de pérdidas económicas por interrupciones del servicio.
- Protección de equipos electrónicos sensibles (barreras, controladores, cámaras).
- Reducción de costos por mantenimientos correctivos derivados de fallas eléctricas.

Considerando la vida útil del sistema (15–25 años) y el aumento progresivo de tarifas eléctricas, la inversión se amortiza indirectamente mediante:

- Continuidad operativa institucional.
- Disminución de riesgos operativos.
- Ahorro en mantenimiento correctivo.

- Independencia energética parcial.

El periodo de recuperación puede estimarse entre 8 y 12 años dependiendo del comportamiento tarifario y frecuencia de cortes eléctricos.

### **5.7. Beneficios Ambientales**

El sistema híbrido fotovoltaico contribuye a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, al disminuir el consumo de energía proveniente de fuentes basadas en combustibles fósiles.

- Entre los principales beneficios ambientales se destacan:
- Reducción de la huella de carbono institucional.
- Disminución del uso de combustibles fósiles indirectos.
- Promoción de energías renovables dentro del campus universitario.
- Modelo demostrativo de sostenibilidad para la comunidad académica.

Además, al incorporar tecnología LiFePO<sub>4</sub>, se garantiza mayor estabilidad térmica, menor impacto ambiental y mayor vida útil comparado con tecnologías tradicionales.

## CONCLUSIONES

El análisis y dimensionamiento del sistema fotovoltaico híbrido propuesto para las garitas de acceso de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil demuestran que la solución planteada es técnicamente viable para garantizar la continuidad del suministro eléctrico ante interrupciones de la red pública. El estudio del consumo energético permitió determinar la demanda real de las cargas críticas, considerando aproximadamente 800 ciclos diarios de operación de la barrera vehicular, así como el funcionamiento continuo de los sistemas de control, comunicación e iluminación, estableciendo así los parámetros necesarios para el diseño del sistema.

El sistema fotovoltaico fue diseñado mediante la selección de componentes capaces de cubrir la demanda energética y garantizar continuidad operativa. La configuración considera módulos monocristalinos de 550 W, un inversor híbrido de 2,5 kW, un controlador de carga MPPT y un banco de baterías operando a 24 V. Este banco fue dimensionado para proporcionar aproximadamente 24 horas de autonomía, permitiendo mantener el funcionamiento del sistema ante interrupciones del suministro eléctrico. La selección de estos equipos responde a criterios técnicos relacionados con la capacidad de respaldo, la estabilidad en la regulación de voltaje y la respuesta ante picos de arranque de las cargas conectadas. Con esta configuración se busca asegurar un suministro eléctrico estable y confiable para las garitas de control, incluso cuando se presenten fallas en la red convencional.

El costo estimado de inversión por cada control de acceso es de \$5.106,00, lo que representa una inversión inicial potencialmente viable frente a los beneficios operativos que aporta el sistema, su implementación reduce la dependencia a la red pública eléctrica, mejora la capacidad energética de la infraestructura y seguridad operativa de las garitas de acceso.

Se concluye que la implementación del sistema fotovoltaico híbrido con respaldo en baterías cumple con el objetivo general planteado en la investigación, ya que brinda una solución técnica eficiente y adecuada para mantener la continuidad en el funcionamiento de las garitas ante posibles interrupciones del suministro eléctrico.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda la implementación del sistema fotovoltaico híbrido propuesto sin embargo, antes de su instalación, es fundamental realizar una evaluación técnica en el lugar de ubicación que permita verificar las condiciones estructurales, definir el lugar más adecuado de instalación de los módulos y asegurar una integración segura con la infraestructura eléctrica existente en el campus universitario.

Es importante establecer un plan de monitoreo y mantenimiento preventivo que debe incluir inspecciones periódicas de los módulos fotovoltaicos, revisión del estado del banco de baterías, verificación de las conexiones eléctricas y evaluación del desempeño del inversor híbrido instalado. De esta manera, se podrá garantizar un funcionamiento eficiente y prolongar la vida útil del sistema.

Se sugiere analizar la posibilidad de instalar este proyecto energético a otras infraestructuras críticas del campus que requieran continuidad operativa ante interrupciones del suministro eléctrico que permita fortalecer así la resiliencia energética institucional.

Se recomienda que futuras investigaciones profundice en el análisis comparativo entre distintas tecnologías de almacenamiento tales como las baterías de plomo-ácido y las baterías de litio, evaluando su desempeño técnico así como su vida útil y la relación costo-beneficio en aplicaciones de respaldo para sistemas fotovoltaicos híbridos en infraestructuras críticas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aedelia , D. N., & Wijayanto, D. S. (2025). Analysis of Monocrystalline and Polycrystalline Photovoltaic Efficiency on Dual-Axis Solar Tracker System Based on Internet of Things. *Mathematical Modelling of Engineering Problems*, 12(12), 2993-3002. <https://doi.org/10.18280/mmep.120904>
- Alonso, J. A. (2025). *Regulador-Controlador de Carga de baterías*. SUNFIELDS: <https://www.sfe-solar.com/baterias/reguladores-carga>
- AL-Rasheedi, M., & Al-Khayat, M. (2024). Variable renewable energy modeling system to study challenges that impact electrical load at different penetration levels: A case study on Kuwait's load profile. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 197. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114421>
- Arun, K. N., Abdul, N. A., Sivakumaran, T. S., y Balamurugan, M. (2024). A Review on Charge Controllers for PV Based System. *Peer-Reviewed Journal of Scientific & Innovative Research (PJSiR)*. [https://doi.org/https://www.pjsir.org/editorial-process/articles/1251\\_20061709\\_A-review-on-Charge-Controllers-for-PV-Based-System---TTEM.pdf](https://doi.org/https://www.pjsir.org/editorial-process/articles/1251_20061709_A-review-on-Charge-Controllers-for-PV-Based-System---TTEM.pdf)
- Baranyai , N. H., Esses, N., Vincze, A., y Zsiborács, H. (2025). The effect of orientation and tilt angle on PV system energy production in Hungary: regional comparison and optimization possibilities. *SPRINGER NATURE*, 6(1192). <https://doi.org/10.1007/s43621-025-02082-z>
- Ben Rabha, M., El Haj, A., Ben Rabha, M., Choubani, K., Almeshaal, M. A., y Dimassi, W. (2025). Enhancement of Optoelectronic Properties of Multicrystalline Silicon Using Al-NPs and SiNx Layer. *Crystals*, 381, 15(4). <https://doi.org/10.3390/cryst15040381>

- Cao, T., Ye, Z., Wu, Q., Wan, X., Wang, J., & Li, D. (2025). A Review of Adaptive Control Methods for Grid-Connected PV Inverters in Complex Distribution Systems. *Energies*, 18(3)(473). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/en18030473>
- CEEngineering. (2021). *Design and sizing of solar photovoltaic systems*. CEEngineering. <https://www.cedengineering.com/userfiles/R08-002%20-%20Design%20and%20Sizing%20of%20Solar%20Photovoltaic%20Systems%20-%20US.pdf>
- CENACE. (2024). *Parte 1: Informe Anual CENACE 2023*. CENACE. <https://www.cenace.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2024/04/Parte-1-Informe-Anual-CENACE-2023.pdf>
- Chatzipanagi, A., äger-Waldau, A., Letout, S., Mountraki, i., Bermudez, J. G., Georgakaki, A., . . . Schmitz, A. (2024). *Photovoltaics in the European Union: STATUS REPORT ON TECHNOLOGY*. Publications Office of the European Union. [https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC139297/JRC139297\\_01.pdf](https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC139297/JRC139297_01.pdf)
- Clean Energy Reviews. (2025). *Most efficient solar panels 2025*. Clean Energy Reviews: <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/most-efficient-solar-panels>
- Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos Industriales de España. (2002). *Energía solar fotovoltaica*. COIT.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2022). *Transición energética y diversificación del sector eléctrico en América Latina y el Caribe*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. [https://www.cepal.org/sites/default/files/events/files/transicion\\_energetica\\_ponencia\\_universidad\\_ecuador.pdf](https://www.cepal.org/sites/default/files/events/files/transicion_energetica_ponencia_universidad_ecuador.pdf)
- Dadi, M., Siwale, W., Tesfaye, T., y Ramjugernath, D. (2025). Advances in bioenergy technologies and sustainability assessment: A comprehensive review. *Discover Energy*, 2, 95. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s43937-025-00095-3>

- Duffie, J. A., y Beckman, W. A. (2023). *Solar engineering of thermal processes*. Wiley.  
<https://doi.org/https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781118671603>
- Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE. (2025). *Photovoltaics Report 2024*.  
 Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE.  
<https://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/studies/photovoltaics-report.html>
- Global Wind Energy Council. (2024). *Global Wind Report 2024*. GWEC:  
<https://www.gwec.net/reports/globalwindreport/2024>
- Green, M. A., Dunlop, E. D., Hohl-Ebinger, J., Yoshita, M., Kopidakis, N., y Hao, X. (2019). Operation and physics of photovoltaic solar cells: An overview. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 27(1), 3-12.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1002/pip.3117>
- Harker Steele, A. J., Burnett, J. W., y Bergstrom, J. (2021). The impact of variable renewable energy resources on power system reliability. *Energy Policy*, 111947.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111947>
- Herez , A., Jaber, H., El Hage, H., Lemenand, T., Ramadán, M., y Khaled, M. (2023). A review on the classifications and applications of solar photovoltaic technology. *AIMS Energy*, 11(6), 1102-1130.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.3934/energy.2023051>
- Hernández, E. ( 2023). *Los controladores de carga en los sistemas solares fotovoltaicos*.  
 Solar Fotovoltaico: <https://solar-fotovoltaico.com/componentes/controladores/funcion-basica>
- Huawei . (2024). *Optimizar la potencia: ángulo y dirección de instalación de los paneles solares*. Huawei FusionSolar: <https://solar.huawei.com/es/blog/2024/solar-panel-installation-angle-and-direction/>
- Icaza Alvarez, D., Jurado , F., Flores, C., y Rei, G. (2023). Current status, renewable energy and projections for the Ecuadorian electricity market. *Heliyon*, 9(e19059).  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19059>

- IEA. (2022). *Hydropower*. International Energy Agency: <https://www.iea.org/energy-system/renewables/hydropower>
- IEA. (2022). *Hydropower special market report*. International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/hydropower-special-market-report>
- IEA. (2022). *Renewables 2022: Analysis and forecast to 2027*. International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/renewables-2022>
- IEA. (2023). *Electricity market report 2023*. International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/electricity-market-report-2023>
- IEA. (2023). *International Energy Agency*. Wind: [www.iea.org/energy-system/renewables/wind](http://www.iea.org/energy-system/renewables/wind)
- IEA. (2023). *Renewables 2023: Analysis and forecast to 2028*. International Energy Agency. [https://iea.blob.core.windows.net/assets/96d66a8b-d502-476b-ba94-54ffda84cf72/Renewables\\_2023.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/96d66a8b-d502-476b-ba94-54ffda84cf72/Renewables_2023.pdf)
- IEA. (2023). *Solar PV global supply chains*. International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/solar-pv-global-supply-chains>
- IEA. (2024). *The Future of Geothermal Energy*. International Energy Agency. IEA: <https://www.iea.org/reports/the-future-of-geothermal-energy>
- IEA. (2025). *Bioenergy*. International Energy Agency: <https://www.iea.org/energy-system/renewables/bioenergy>
- Intal, D., & Ebong, A. U. (2026). Thin-film solar photovoltaics: Trends and future directions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 226(116464). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.116464>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change*. IPCC: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change*. IPCC.

- International Energy Agency. (2022). *World energy outlook 2022*. International Energy Agency.
- IRENA. (2022). *Renewable power generation costs in 2022*. International Renewable Energy Agency. [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Aug/IRENA\\_Renewable\\_power\\_generation\\_costs\\_in\\_2022.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Aug/IRENA_Renewable_power_generation_costs_in_2022.pdf)
- IRENA. (2023). *Geothermal energy*. IRENA: <https://www.irena.org/Energy-Transition/Technology/Geothermal-energy>
- IRENA. (2023). *Innovation landscape for smart electrification*. International Renewable Energy Agency. [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Jun/IRENA\\_Innovation\\_landscape\\_for\\_smart\\_electrification\\_2023.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Jun/IRENA_Innovation_landscape_for_smart_electrification_2023.pdf)
- IRENA. (2023). *Renewable energy technologies: Cost analysis series – Wind power*. International Renewable Energy Agency. [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Wind/IRENA\\_Wind\\_power\\_cost\\_analysis\\_2023.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Wind/IRENA_Wind_power_cost_analysis_2023.pdf)
- Jordan, D. C., & Kurtz, S. R. (2013). Photovoltaic degradation rates—An analytical review. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 21(1), 12-29. <https://doi.org/10.1002/pip.1182>
- Luo, X., Wang, J., Dooner, M., y Clarke, J. (2025). Integrating energy storage technologies with renewable energy systems. *Sustainability*, 17(9), 4097. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su17094097>
- Markvart , T., & Castañer , L. (2017). *Photovoltaic systems engineering*. Academic Press (Elsevier). <https://doi.org/https://www.sciencedirect.com/book/edited-volume/9780123859341/practical-handbook-of-photovoltaics>
- Masters, G. (2023). *Renewable and efficient electric power systems*. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118140628>

- Messenger, R. A., & Ventre, J. (2022). *Photovoltaic systems engineering*. CRC Press.  
<https://doi.org/https://www.routledge.com/Photovoltaic-Systems-Engineering/Messenger-Ventre/p/book/9781138072686>
- Mignogna, D., Maggino, F. C., Piccinno, D., y Valente, C. (2024). Biomass energy and biofuels: Perspectives, potentials, and sustainability challenges. *Sustainability*, 16(16), 7036. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su16167036>
- Ministerio de Energía y Minas. (2024). *Informe de rendición de cuentas 2023*. <https://www.ambienteenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2024/03/Informe-Rendicio%CC%81n-de-Cuentas-2023.pdf>
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2021). *Accelerating decarbonization of the U.S. energy system*. The National Academies Press.
- National Renewable Energy Laboratory. (1995). *Photovoltaic fundamentals*. National Renewable Energy Laboratory.
- National Renewable Energy Laboratory. (6 de Diciembre de 2025). *Best research-cell efficiency chart*. NREL: <https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html>
- Philipps, S., Fraunhofer , I., y Werner, W. (2025). *Photovoltaics report*. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE.
- Rana, M. M., Uddin, M., Sarkar, M. R., Shafiullah, G. M., Mo, H., y Atef, M. (2022). A review on hybrid photovoltaic–battery energy storage systems: Current status, challenges, and future directions. *Journal of Energy Storage*, 55(104597). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.est.2022.104597>
- REN21. (2023). *Renewables 2023 Global Status Report*. REN21 Secretariat.
- Roy, D. (2023). Multi-objective optimization of biomass gasification based combined heat and power system employing molten carbonate fuel cell and externally fired gas turbine. *Elsevier*, 348(121486). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.121486>

- Sadeghi, R., Parenti, M., Memme, S., Fossa, M., y Morchio, S. (2025). A Review and Comparative Analysis of Solar Tracking Systems. *Energies*, *18*(10)(2553). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/en18102553>
- Sandia National Laboratories. (2023). *Photovoltaic Solar Energy*. Sandia National Laboratories: <https://energy.sandia.gov/programs/renewable-energy/photovoltaic-solar-energy/>
- SBC Energy Institute. (2013). *Solar PV fact book*. SBC Energy Institute. [https://energypedia.info/images/4/41/SBC\\_Energy\\_Institute\\_Solar\\_PV\\_FactBook.pdf](https://energypedia.info/images/4/41/SBC_Energy_Institute_Solar_PV_FactBook.pdf)
- Tan, W., & Mohamad-Saleh, J. (2023). Critical review on interrelationship of electro-devices in photovoltaic solar systems with their evolution and future prospects for MPPT applications. *Energies*, *16*(2), 850. <https://doi.org/https://www.mdpi.com/1996-1073/16/2/850>
- Ukoima, k., Efughu, D., Azubuiké, O., y Akpiri, B. (2024). Investigating the optimal Photovoltaic (PV) tilt angle using the Photovoltaic Geographic Information System (PVGIS). *Nigerian Journal of Technology*, *43*(1), 101-114. <https://doi.org/https://doi.org/10.4314/njt.v43i1.12>
- Utec by Ultratech. (2025). *Thin film solar panels in 2025: Efficiency, types & cost*. Utec by Ultratech: <https://utecbyultratech.com/learn/blogs/thin-film-solar-panels-efficiency-cost-pros-and-cons-as-of-2025/690>
- Villalva, M. G., & Gazoli, J. R. (2022). Comprehensive approach to modeling and simulation of photovoltaic arrays. *IEEE Transactions on Power Electronics*, *24*(5), 1198-1208. <https://doi.org/https://ieeexplore.ieee.org/document/5208040>
- World Bank. (2023). *Hydropower*. World Bank: <https://www.worldbank.org/en/topic/energy/brief/hydropower>
- Yin, K., Xiao, Y., Shen, X., Zhu, Y., & Yang, Y. (2024). Review of Photovoltaic–Battery Energy Storage Systems for Grid-Forming Operation. *Batteries*, *10*(8)(288). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/batteries10080288>

Zhang , Y., Tao, M., & Yang , H. (2022). Grid-connected photovoltaic battery systems: A comprehensive review and perspectives. *Elsevier*, 328(120182).  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.120182>

Zhang, K., Liu, y., Wang, j., y Chen, z. (2025). Comprehensive review of solar photovoltaic technologies: Fundamentals and recent advances. *Cleaner Engineering and Technology*, 27, 100720.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2025.101057>

## ANEXOS

*Anexo 1. Garita de entrada al campus de la UCSG*



*Anexo 2. Barreras vehiculares de ingreso por la av Carlos Julio Arosemena*



*Anexo 3. Teletag garita de salida del campus hacia av Carlos Julio Arosemena*



Anexo 4. Barreras vehiculares ingreso y teletag



*Anexo 5. Sistema electrónico de control de acceso con lector QR*



Anexo 6. Detalle frontal del módulo lector de código QR del sistema de control de acceso.



*Anexo 7. Vista interna del gabinete del módulo de control con cableado y componentes eléctricos.*



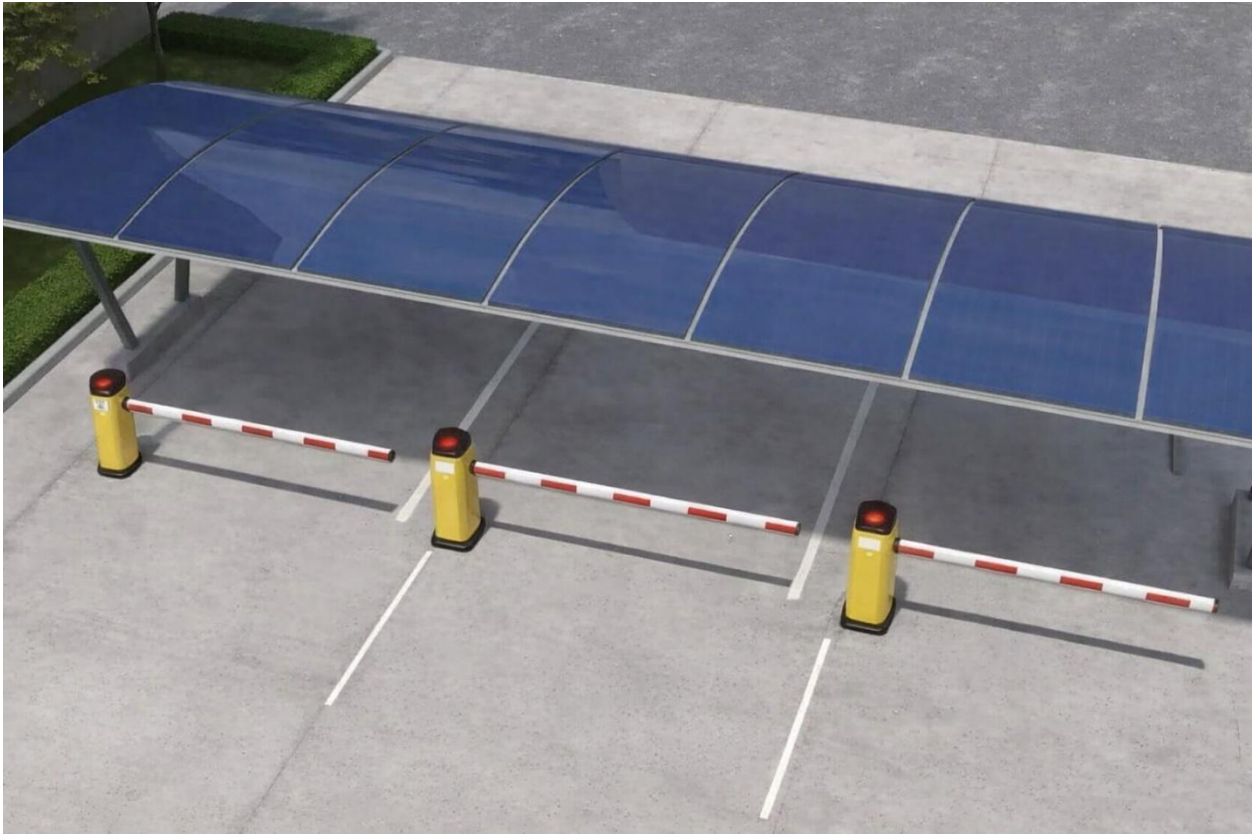
Anexo 8. Panel frontal del equipo dispensador y lector QR en operación.



*Anexo 9. Barrera vehicular marca Ditec*



*Anexo 10. Diseño de proyecto solar de respaldo energético diseñado con sketchUP*





Presidencia  
de la República  
del Ecuador



Plan Nacional  
de Ciencia, Tecnología,  
Innovación y Saberes



**SENESCYT**  
Secretaría Nacional de Educación Superior,  
Ciencia, Tecnología e Innovación

## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **VEGA GIRON EDWIN DAVID**, con C.C: # **0706430485** autor del trabajo de titulación: **DISEÑO ELÉCTRICO DE UN SISTEMA DE RESPALDO PARA MANTENER LA CONTINUIDAD EN EL SERVICIO DE LAS GARITAS DE ACCESO DEL CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTIAGO DE GUAYAQUIL** previo a la obtención del título de **INGENIERO ELÉCTRICO** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, **02 de marzo de 2026**

f. \_\_\_\_\_

Nombre: **VEGA GIRON EDWIN DAVID**

C.C: 0706430485

## **REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

### **FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN**

<b>TEMA Y SUBTEMA:</b>	DISEÑO ELÉCTRICO DE UN SISTEMA DE RESPALDO PARA MANTENER LA CONTINUIDAD EN EL SERVICIO DE LAS GARITAS DE ACCESO DEL CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTIAGO DE GUAYAQUIL		
<b>AUTOR(ES)</b>	Vega Giron, Edwin David		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	Ing. Bohórquez Escobar Celso Bayardo, Ph.D.		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
<b>CARRERA:</b>	Ingeniería en Electricidad		
<b>TITULO OBTENIDO:</b>	Ingeniero eléctrico		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	02 de marzo de 2026	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	96
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Energías renovables, sistema fotovoltaico, electricidad		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	Acceso vehicular, control de acceso, energía renovable		
<b>RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):</b>	El análisis y simulación del sistema fotovoltaico (FV) propuesto para la Universidad Católica Santiago de Guayaquil demuestran que es una solución viable y eficiente para generar energía renovable. Con una capacidad instalada de 2.5 kW, el sistema, compuesto por 4 paneles solares y un inversor de 2.5 kW, producirá anualmente 2486kw cubriendo una parte significativa de las necesidades energéticas de la Universidad con respecto a las garitas de control de acceso vehicular. Además, contribuirá a reducir la huella de carbono al año. El proyecto, con un costo total de \$5.106,00 dólares, proyecta un retorno de la inversión en aproximadamente 8 años, gracias a la disminución en los costos de electricidad.		
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> +593989817338	E-mail: <a href="mailto:edwin.vega@cu.ucsg.edu.ec">edwin.vega@cu.ucsg.edu.ec</a>	
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):</b>	<b>Nombre:</b> Ing. Bohórquez Escobar Celso Bayardo, Ph.D.		
	<b>Teléfono:</b> +5939951472993		
	<b>E-mail:</b> <a href="mailto:celso.bohorquez@cu.ucsg.edu.ec">celso.bohorquez@cu.ucsg.edu.ec</a>		
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>			
<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>			
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>			
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>			